



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“PREPARACIÓN DE UN MOTOR YAMAHA 400CC Y ADAPTACIÓN A UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

**PÉREZ VALVERDE DIEGO FERNANDO
VALDIVIESO MEDINA OSCAR DELFÍN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**PÉREZ VALVERDE DIEGO FERNANDO
VALDIVIESO MEDINA OSCAR DELFÍN**

Titulado:

**“PREPARACIÓN DE UN MOTOR YAMAHA 400CC Y ADAPTACIÓN A UN
PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Padilla Padilla
DIRECTOR

Ing. Luis Buenaño Moyano
ASESOR

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PÉREZ VALVERDE DIEGO FERNANDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PREPARACIÓN DE UN MOTOR YAMAHA 400CC Y ADAPTACIÓN A UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-08-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Bolivar Cuaical Angulo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Luis Buenaño Moyano ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Bolivar Cuaical Angulo
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VALDIVIESO MEDINA OSCAR DELFÍN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PREPARACIÓN DE UN MOTOR YAMAHA 400CC Y ADAPTACIÓN A UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-08-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Bolivar Cuaical Angulo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Celin Padilla Padilla DIRECTOR			
Ing. Luis Buenaño Moyano ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Bolivar Cuaical Angulo
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pérez Valverde Diego Fernando

Valdivieso Medina Oscar Delfín

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Diego Fernando Pérez Valverde y Oscar Delfín Valdivieso Medina, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Pérez Valverde Diego Fernando
Cédula de Identidad: 060318405-2

Oscar Delfín Valdivieso Medina
Cédula de Identidad: 060303304-4

DEDICATORIA

Primeramente quiero dedicar a Dios por haberme dado la fortaleza para derribar obstáculos presentados en mi vida, así como también a mis padres, tías, primos y demás familiares que hicieron todo lo que estuvo a su alcance para que yo pudiera lograr mis metas, por motivarme, por siempre creer en mí, por estar a mi lado en los momento más difíciles y por guiarme por el mejor camino.

Diego Pérez Valverde

Quiero dedicar a Dios por darme la vida y la oportunidad de realizar este sueño; darme la fe de que todos los conocimientos adquiridos me duraran por siempre. A mis padres por el apoyo incondicional, económico y moral, guiándome por el camino de la vida con amor, cariño, comprensión, con motivación y por su suavidad y dureza al hablarme para ayudarme a ser mejor. A mis hermanos por el apoyo y el impulso que me han dado siempre.

Oscar Valdivieso Medina

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso por su gracia, misericordia y bendiciones; haciendo posible conseguir la culminación de esta carrera. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. A mis padres por su cariño, apoyo, comprensión y dedicación; que días tras día me impulsaron a que yo pueda cumplir mis metas convirtiéndome en una persona responsable. Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Diego Pérez Valverde

Al terminar esta etapa de mi vida quiero dejar constancia de mi sincera gratitud a mis padres Corina Medina y José Valdivieso por ayudarme a alcanzar uno más de mis sueños. El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. Y en especial para mis hermano/as Ivonne, Christian y Katherine, a todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Oscar Valdivieso Medina

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo General</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Motor de combustión interna	4
2.1.1	<i>Clasificación.</i>	4
2.1.2	<i>Constitución del motor de cuatro tiempos.</i>	5
2.1.3	<i>Ciclo de trabajo teórico de un motor Otto.</i>	6
2.1.4	<i>Análisis del ciclo real de un motor Otto..</i>	6
2.1.5	<i>Diagrama de distribución</i>	8
2.1.6	<i>Sistemas del motor de combustión interna</i>	9
2.1.6.1	<i>Sistema de encendido del motor de gasolina.</i>	9
2.1.6.2	<i>Sistema de alimentación</i>	11
2.1.6.3	<i>Sistema de distribución..</i>	12
2.1.6.4	<i>Sistema eléctrico.</i>	12
2.1.6.5	<i>Sistema de transmisión</i>	13
2.1.6.6	<i>Sistema de refrigeración.</i>	13
2.1.6.7	<i>Sistema de lubricación.</i>	15
2.1.7	<i>Parámetros fundamentales del motor de combustión interna.</i>	16
2.1.7.1	<i>Cilindrada.</i>	16
2.1.7.2	<i>Carrera</i>	16
2.1.7.3	<i>Relación de compresión.</i>	16
2.1.7.4	<i>Consumo específico del combustible</i>	17
2.1.8	<i>Rendimiento del motor.</i>	17
2.1.8.1	<i>Rendimiento térmico.</i>	17
2.1.8.2	<i>Rendimiento mecánico.</i>	18
2.1.8.3	<i>Rendimiento efectivo.</i>	18
2.1.8.4	<i>Rendimiento volumétrico.</i>	18
2.1.9	<i>Características principales de los motores de combustión interna..</i>	19
2.1.9.1	<i>Torque.</i>	19
2.1.9.2	<i>Potencia</i>	19
2.1.9.3	<i>Potencia al freno.</i>	20
2.1.9.4	<i>Factor de corrección.</i>	20
2.1.9.5	<i>Coeficiente de elasticidad.</i>	20
2.1.9.6	<i>Presión media efectiva.</i>	21
3.	MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	
3.1	Por el aumento de la cilindrada	23
3.1.1	<i>Aumentar el diámetro del cilindro.</i>	23
3.1.2	<i>Aumentar la carrera del pistón.</i>	24

3.2	Por el aumento de la presión media efectiva (PME).....	24
3.2.1	<i>Aumento de la relación de compresión.</i>	24
3.2.2	<i>Mejorando las condiciones de funcionamiento de las válvulas</i>	25
3.2.3	<i>Aumento de la entrada de aire y combustible.</i>	26
3.3	Por el aumento del régimen de giro	27
3.3.1	<i>Aligerando masa que están en movimiento.</i>	27
4.	ESTADO DEL MOTOR YAMAHA 400CC ANTES DE LA PREPARACIÓN	
4.1	Revisión del motor Yamaha 400 cc	29
4.2	Pruebas en el banco dinamométrico del motor Yamaha 400 cc estándar	30
4.2.1	<i>Cálculo de potencia y Consumo.</i>	31
4.2.2	<i>Factor de corrección (K_a).</i>	31
4.2.3	<i>Cálculo elasticidad de par (E_p).</i>	32
4.2.4	<i>Cálculo elasticidad de régimen (E_n).</i>	33
4.2.5	<i>Cálculo del coeficiente de elasticidad.</i>	33
4.2.6	<i>Cálculo presión media efectiva y potencia al freno.</i>	33
4.3	Gráficas de torque, potencia y consumo específico de combustible.....	34
4.4	Valoración de los elementos y sistemas del motor Yamaha 400cc	35
4.4.1	<i>Valoración del sistema de encendido.</i>	36
4.4.2	<i>Valoración del sistema de alimentación.</i>	37
4.4.3	<i>Valoración del sistema de lubricación.</i>	37
4.4.4	<i>Valoración del sistema de refrigeración.</i>	38
5.	PREPARACIÓN DEL MOTOR YAMAHA 400CC	
5.1	Bloque de cilindros	39
5.1.1	<i>Estado del bloque de cilindros.</i>	39
5.1.2	<i>Verificación de holguras permisibles.</i>	41
5.2	Pistones	41
5.2.1	<i>Selección de los pistones.</i>	41
5.2.2	<i>Recortes de la falda de los pistones.</i>	42
5.2.3	<i>Perforaciones del pistón.</i>	43
5.2.4	<i>Equilibrado de los pistones.</i>	44
5.3	Los aros o segmentos	46
5.3.1	<i>Trabajos prácticos en los aros.</i>	47
5.3.2	<i>Instalación de los aros en el pistón.</i>	48
5.4	Cabezote o culata	49
5.4.1	<i>Toberas de admisión y escape.</i>	49
5.5	Válvulas.....	50
5.5.1	<i>Sentado y esmerilado de válvulas.</i>	50
5.6	Preparación de los sistemas del motor Yamaha 400cc	51
5.6.1	<i>Sistema de alimentación.</i>	51
5.6.1.1	<i>Limpieza e inspección.</i>	52
5.6.1.2	<i>Reemplazo de algunos elementos del carburador.</i>	53
5.6.1.3	<i>Regulación de la boya.</i>	54
5.6.1.4	<i>Calibración de ralentí.</i>	56
5.6.2	<i>Sistema eléctrico.</i>	57
5.7	Pruebas en el banco dinamométrico del motor Yamaha 400cc preparado	60
5.7.1	<i>Cálculo de la cilindrada unitaria.</i>	60
5.7.2	<i>Cálculo de la cilindrada total.</i>	61

5.7.3	<i>Cálculo de la relación de compresión.</i>	61
5.7.4	<i>Cálculo de potencia y consumo.</i>	62
5.7.5	<i>Cálculo del factor de corrección (K_a).</i>	62
5.7.6	<i>Cálculo de la elasticidad de par (E_p).</i>	63
5.7.7	<i>Cálculo de la elasticidad de régimen.</i>	63
5.7.8	<i>Cálculo del coeficiente de elasticidad.</i>	63
5.7.9	<i>Cálculo de la presión media efectiva y potencia al freno.</i>	64
5.7.10	<i>Gráficas de torque, potencia y consumo específico de combustible.</i>	64
5.7.11	<i>Curvas resultantes entre el motor estándar y el preparado.</i>	66
6.	ADAPTACIÓN DEL MOTOR YAMAHA 400CC Y COMPONENTES AL CHASIS DEL PROTOTIPO	
6.1	Selección de la ubicación de los elementos del motor Yamaha 400cc	68
6.2	Seguridad en el Taller	68
6.3	Proceso de soldadura de las bases del motor Yamaha 400cc	69
6.4	Adaptación del motor Yamaha 400cc	69
6.5	Adaptación del sistema de escape	70
6.6	Adaptación de los pedales del acelerador y embrague	71
6.7	Adaptación del Radiador	72
6.8	Adaptación de los elementos del sistema de encendido	73
7.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	
7.1	Costos directos	74
7.2	Costos indirectos	75
7.3	Costo total	75
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones	76
8.2	Recomendaciones	76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Valores medios de las cotas de distribución de motores Otto 9
2	Temperatura de algunos elementos del motor 14
3	Punto de congelación en función del porcentaje de anticongelante 15
4	Información del motor Yamaha 400cc 28
5	Datos obtenidos en el banco dinamométrico 31
6	Cálculos de potencia y consumo 31
7	Cálculo potencia y consumo aplicando el factor de corrección 32
8	Cálculo PME y potencia al freno..... 33
9	Partes del motor y su estado 36
10	Partes y estado del sistema de encendido 37
11	Partes y estado del sistema de alimentación 37
12	Partes y estado del sistema de lubricación..... 37
13	Partes y estado del sistema de refrigeración 38
14	Valores de rectificación 40
15	Peso de los pistones estándar 45
16	Peso de los pistones preparados..... 45
17	Pesos de los pistones nivelados 45
18	Holguras entre aro y su garganta 47
19	Datos obtenidos del banco dinamométrico 61
20	Cálculo de potencia y consumo 62
21	Cálculo de potencia y consumo aplicando el factor de corrección..... 62
22	Cálculo de PME y potencia al freno 64
23	Comparación de datos 67
24	Costos directos..... 74
25	Costos indirectos..... 75
26	Costo total 75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Diagrama real del ciclo Otto.....	7
2 Diagrama de distribución.....	8
3 Sistema de encendido	9
4 Función del distribuidor.....	10
5 Carburador elemental	11
6 Batería.....	12
7 Bomba del líquido refrigerante.....	14
8 Carrera del Pistón	24
9 Concentración de mezcla.....	26
10 Medición de la compresión.....	29
11 Medición de vacío de los carburadores	29
12 Medición de resistencia	30
13 Motor colocado en el banco dinamométrico	30
14 Torque.....	34
15 Potencia	34
16 Consumo específico de combustible	35
17 Partes del motor	36
18 Bloque de cilindros del motor Yamaha	39
19 Rectificado de los cilindros	40
20 Bloque rectificado.....	41
21 Pistones estándar.....	41
22 Pistones sobremedidas	42
23 Corte de falda del pistón	42
24 Corte de la falda del pistón	43
25 Perforaciones del pistón.....	44
26 Peso del pistón	44
27 Peso de Pistones Preparados.....	46
28 Aros del pistón.....	46
29 Colocación de los aros	48
30 Esmerilado de los conductos de escape	49
31 Pulido de los conductos de admisión y escape	50
32 Asentamiento de las válvulas	51
33 Carburadores.....	52
34 Calibre	54
35 Medición de las boyas	54
36 Verificación del nivel de combustible	55
37 Conducto de suministro de combustible.....	55
38 Tapones de goma	56
39 Elementos eléctricos sustituidos	57

40	Bobina captadora	58
41	Magneto	58
42	Motor de arranque	58
43	Rectificador	59
44	Relé	59
45	TCI.....	59
46	Bobinas	60
47	Torque.....	64
48	Potencia	65
49	Consumo	65
50	Comparación torque	66
51	Comparación potencia	66
52	Comparación del consumo de combustible	67
53	Adaptación del motor	70
54	Adaptación del sistema de escape	71
55	Adaptación de los pedales de embrague y acelerador	72
56	Adaptación del radiador.....	73
57	Adaptación del sistema de encendido.....	73

SIMBOLOGÍA

Cu	Cilindrada unitaria	cm ³
Rc	Relación de compresión	
Ce	Consumo específico de combustible	g/kW.h
M	Par motor	N.m
P	Potencia	kW
PMF	Presión media efectiva	bar
T	Temperatura	K
t	Tiempo	s
v	Volumen	cm ³
Pa	Presión atmosférica	mmHg
Ta	Temperatura ambiente	°C
n	Régimen	rpm
η	Rendimiento	

LISTA DE ABREVIACIONES

SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
RPM	Revoluciones por minuto
Ep	Elasticidad de par
En	Elasticidad de régimen
E	Coefficiente de elasticidad
PME	Presión media efectiva
VA	Válvula de admisión
VE	Válvula de escape
PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
AE	Avance al encendido
AAE	Avance a la apertura de escape
AAA	Avance de apertura de admisión
RCA	Retraso al cierre de la admisión
RCE	Retraso al cierre de escape
TCI	Unidad de control de encendido transistorizado

LISTA DE ANEXOS

- A** Reglamento Fórmula SAE
- B** Certificado de matrícula: motor Yamaha 400cc
- C** Deformación y factor de seguridad de las bases del motor

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó la preparación de un motor Yamaha 400cc y adaptación a un prototipo Fórmula SAE, con el propósito de incrementar su potencia y saber cuál proceso de preparación es el más fiable, así como también determinar la ubicación adecuada del motor y sus demás componentes, desarrollando una guía para la ejecución de estos trabajos.

La preparación requiere de la comprobación de los sistemas y elementos constitutivos del motor, para de esta manera determinar su estado, realizando el reemplazo de los elementos defectuosos y aplicando los métodos de preparación, posteriormente se realiza la comparación entre los valores del motor de forma estándar y preparado.

Realizado los trabajos de preparación se obtuvo un nuevo valor de cilindrada el cual es de 402,58cc y posteriormente se realiza la obtención de los valores con la ayuda del banco dinamométrico, obteniendo un aumento de potencia de 6,6 kW a 6500 rpm y un aumento de torque de 9,96 N.m a 6000 rpm. Demostrando que los procesos aplicados fueron los adecuados para el motor Yamaha 400cc. En cuanto la adaptación se procedió a la ubicación del motor en la parte posterior del chasis y sus demás componentes cumpliendo con el reglamento de la Formula SAE.

Finalmente el motor Yamaha 400cc queda listo para los posteriores trabajos relacionados con el prototipo de la Fórmula SAE, para que de esta manera se pueda incursionar en las competencias realzando el prestigio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

ABSTRACT

In the present work of titling, the preparation of an engine Yamaha 400cc and the adaptation to a prototype Formula SAE was carried out, in order to increase its power and know which preparation process was the most reliable, as well as determine the appropriate engine location and other components, developing a guide for the execution of these works.

The preparation required verification of the constituent systems and engine components to determine its status, making the replacement of the defective elements and applying the methods of preparation, later, the comparison between the values of standard and prepared form was performed.

After the preparatory work was carried out, the value of the cylinder capacity of 204,58cc was modified and then the obtaining of values with the help of a chassis dynamometer was performed with an increase in power from 6,6 kW to 6500 rpm and an increase in torque from 9,96 N.m to 6000 rpm, showing that processes applied were suitable for 400cc Yamaha engine. In terms of adaptation, the location of the engine in the rear of the chassis and other components was done, to complying with the regulations of the Formula SAE.

Finally, the Yamaha 400cc engine was ready for further works related to the Formula SAE prototype, therefore, it can move into competencies raising the prestige of the ESPOCH Engineering Automotive.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La preparación de un motor de combustión interna nace a partir de que surgen las competencias automovilísticas, viendo la necesidad de aumentar la potencia, donde los motores de serie son tratados puramente para competición dotando de manera completa de piezas especiales producidas para alto rendimiento del mismo.

A medida de que pasa el tiempo la tecnología para la preparación de un motor de combustión interna se sigue desarrollando, es así que en años atrás simplemente se lo realizaba de manera mecánica usando métodos que no eran los adecuados como por ejemplo: la disminución de masa de diferentes elementos no era controlada ni precisa, el material del que estaban fabricados las piezas no soportaban altas temperaturas, el ingreso de aire y combustible no era controlado, entre otros. Por esta necesidad se investigó e implementó nuevos métodos para de esta manera tener una preparación más fiable de un motor de combustión interna.

En el Ecuador desde hace mucho tiempo la preparación de un motor se ha vuelto más común por la razón de que el automovilismo es un deporte de gran acogida y es seguido por un importante número de fanáticos, es así que ha dado lugar a diferentes tipos de competencia entre ellas la Fórmula SAE en la cual participan las mejores universidades de diferentes países; siendo la Escuela Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador. Estas universidades han realizado estudios referentes a los vehículos de competencia, las cuales se ha tomado en cuenta como guía para la adquisición y preparación del motor.

Esto ha hecho que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se enfoque en que sus estudiantes puedan llegar a ser partícipes de esta prestigiosa competición empleando recursos y medios disponibles de nuestro país. En tal virtud, la carrera de Ingeniería Automotriz ha iniciado la construcción de un prototipo Fórmula SAE dividiendo en diversos trabajos de titulación.

1.2 Justificación

Siendo parte esencial del prototipo Fórmula SAE el motor, se ve la necesidad de prepararlo y dejarlo en óptimas condiciones para, de esta manera, sacar el máximo provecho y eficiencia del mismo, buscando llegar a competencias nacionales representando a la prestigiosa ESPOCH.

Con el conocimiento generado a partir de esta investigación se va a desplegar la suficiente información para la preparación de un motor en base a datos reales en cuanto a potencia, eficiencia, relación de compresión, cilindrada entre otros. Y es a partir de esta nueva información que se va a contar con un sustento práctico equivalente a un catálogo técnico con el que se pueda adaptar el motor preparado al prototipo. Incluso dichos conocimientos podrán servir como referencia para próximos trabajos de titulación, como por ejemplo, para realizar un diseño óptimo en cuanto al múltiple de admisión así como también para el diferencial de acuerdo al número de revoluciones que entregue el motor.

Mediante la ejecución de este proyecto y su aplicación sobre la preparación y adaptación al prototipo de Fórmula SAE, la Escuela de Ingeniería Automotriz y la ESPOCH se va a dar a conocer a nivel nacional e internacional demostrando que sus estudiantes son capaces e innovadores.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General.* Preparar un motor Yamaha 400cc y adaptar a un prototipo de Fórmula SAE para la carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Analizar los parámetros fundamentales y los distintos métodos para preparar un motor.
- Realizar un estudio general de motor Yamaha 400cc, conociendo así la situación actual en que se encuentra el motor y sus demás componentes.

- Ejecutar los métodos seleccionados para la preparación del motor y análisis de los resultados obtenidos en el dinamómetro.
- Acoplar el motor preparado al chasis del prototipo.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motor de combustión interna

Es una maquina térmica encargada de transformar la energía química que le proporciona un combustible en energía mecánica, que posteriormente se utiliza para producir movimiento.

2.1.1 Clasificación:

- Por la forma de la mezcla y por el encendido.

Motores Otto: se impulsan con preferencia con gasolina y la mezcla se forma generalmente fuera de la cámara de combustión. La combustión se produce por el salto de una chispa producida en la bujía de encendido en la cámara de combustión (GERSCHLER, 1985).

Motores Diésel: la formación de la mezcla es interior, y se impulsan preferentemente con gasoil. La combustión se produce por autoencendido producido por la alta compresión en la cámara de combustión (GERSCHLER, 1985).

- Por el modo de trabajar.

Motores de cuatro tiempos: los tiempos de trabajo de un motor de combustión interna son admisión, compresión, explosión y escape los cuales se producen en 4 carreras o 2 vueltas del cigüeñal para lograr un ciclo de trabajo (GERSCHLER, 1985).

Motores de dos tiempos: los tiempos admisión – compresión y explosión – escape se producen en 2 carreras o 1 vuelta del cigüeñal para lograr un ciclo de trabajo (GERSCHLER, 1985).

- Por el tipo de refrigeración.

Motores refrigerados por líquido

Motores refrigerados por aire (GERSCHLER, 1985)

- En cuanto al movimiento del pistón.

Motores de pistón oscilante

Motores de pistón rotativo (GERSCHLER, 1985)

- Por la disposición de los cilindros.

Motores de cilindros en línea

Motores de cilindros opuestos

Motores de cilindros en V (GERSCHLER, 1985)

2.1.2 *Constitución del motor de cuatro tiempos.* El motor de combustión interna está constituido por diversos elementos entre los principales se los enlista a continuación:

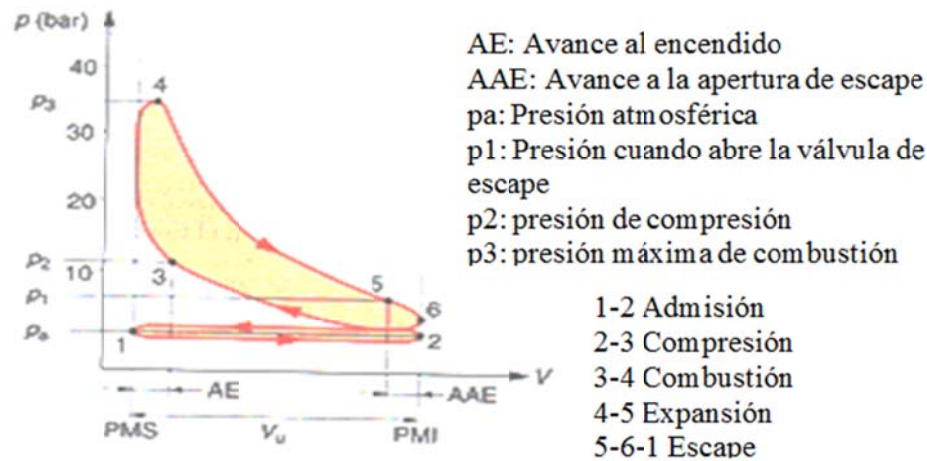
- Carburador
- Culata
- Bloque de cilindros
- Carter
- Cilindros
- Cigüeñal
- Árbol de levas
- Pistones
- Bielas
- Válvulas
- Bomba de aceite
- Bomba de agua
- Múltiple de admisión
- Múltiple de escape (GERSCHLER, 1985)

2.1.3 *Ciclo de trabajo teórico de un motor Otto.* El ciclo de trabajo del motor de cuatro tiempos se produce en 4 carreras o dos vueltas del cigüeñal empezando con el primer tiempo que es el de admisión, el segundo es compresión, el tercero es explosión y finalmente el cuarto tiempo que es el de escape (GERSCHLER, 1985).

- Admisión: el movimiento descendente del pistón se produce como consecuencia del aumento del volumen, una depresión de 0,1 a 0,2 bar., y por consiguiente, una aspiración. Esto hace posible que en el carburador se forme una mezcla inflamable y aire, el cual fluye hacia el cilindro a través de la válvula de admisión (GERSCHLER, 1985).
- Compresión: al ascender el pistón el gas nuevo se comprime hasta la 6ta o 10ma parte del volumen inicial del cilindro. La compresión se desarrolla a una temperatura de 400 a 500°C, por lo cual la presión final de compresión puede alcanzar hasta los 18 bar., favoreciendo a la gasificación interior del combustible y la mezcla íntima de éste con el aire (GERSCHLER, 1985).
- Explosión: la combustión se produce en virtud del salto de la chispa de encendido entre los electrodos de la bujía. La combustión que se produce a modo de explosión alcanza poco después del PMS su máxima temperatura de 2000 a 2500°C y la correspondiente presión de combustión desde 30 bar., hasta más de 60 bar. Con el movimiento de descenso del pistón hasta el PMI se transforma la energía térmica en trabajo mecánico (GERSCHLER, 1985).
- Escape: para descargar el conjunto cigüeñal en el PMI, la válvula de escape se abre ya entre 40° y unos 90° antes del PMI. Gracias a la presión de 3 a 4 bar., todavía existen, los gases quemados salen del cilindro a la velocidad del sonido. Al avanzar el pistón, se expulsa el resto de gases quemados a una presión residual de unos 0,2 bar (GERSCHLER, 1985).

2.1.4 *Análisis del ciclo real de un motor Otto.* El ciclo que se produce realmente en el motor difiere al ciclo teórico ya que por diferentes factores disminuye el rendimiento si se produjera las aperturas y cierres de válvulas a los ángulos teóricos, por esta razón se han modificado estos ángulos mejorando el funcionamiento del motor.

Figura 1. Diagrama real del ciclo Otto



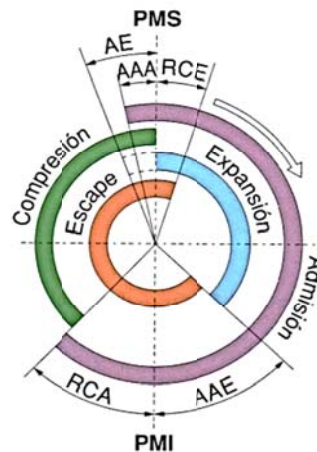
Fuente: (SANZ, 2011)

- Admisión (1-2): La válvula de admisión se abre y el pistón desciende. El gas solo comenzara a entrar cuando el desplazamiento del pitón ha creado la depresión suficiente, esta depresión se mantiene durante la carrera de admisión debido a la resistencia que el gas encuentra al paso por el filtro, los conductos y la válvula. Con el fin de aprovechar la inercia del gas y mejorar el llenado en la cámara de combustión, la válvula de admisión se abre con antelación, antes que el pistón llegue al punto muerto superior, y se cierra con retraso después del punto muerto inferior (SANZ, 2011).
- Compresión (2-3): Con las dos válvulas cerradas, el pistón asciende comprimiendo la mezcla. La compresión no es adiabática ya que por parte del calor producido en la compresión es absorbido por el circuito de refrigeración, reduciendo la presión final (P_2). El encendido se produce en el punto 3 antes que el pistón llegue al punto muerto superior, para compensar el tiempo de combustión al adelanto del encendido (AE) (SANZ, 2011).
- Combustión (3-4): Una vez iniciada la combustión del motor en el punto 3, esta se propaga de forma muy rápida y no instantánea. La combustión de un motor no se realiza a volumen constante ya que el pistón efectúa un pequeño recorrido (3-4) superando el punto muerto superior. El incremento del volumen hace que la presión máxima de combustión (P_3) sea inferior al ciclo teórico antes expuesto (SANZ, 2011).

- Expansión (4-5): El pistón desciende en la carrera de trabajo, esta carrera no es adiabática ya que parte del calor es evacuada al sistema de refrigeración. Esta pérdida de calor además de una menor presión de combustión hace que el trabajo útil obtenido sea menor que al teórico (SANZ, 2011).
- Principio de escape (5-6): La válvula de escape se abre en el punto 5, antes que el pistón llegue al PMI. Este avance en la apertura del escape (AAE) es necesario porque el descenso de la presión (P_1) no es instantáneo, si no que se necesita cierto tiempo durante el cual el pistón hace el recorrido (5-6). La caída de la presión residual y por tanto la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (no isocora) (SANZ, 2011).
- Expulsión de los gases (6-1): En el PMI la presión ya ha descendido lo suficiente y el pistón sube expulsando los gases quemados. Durante la carrera ascendente se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica debido al paso de los gases hacia el exterior encuentra cierta resistencia en el conducto de escape, el silenciador y el catalizador. La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, con el fin de aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación (SANZ, 2011).

2.1.5 *Diagrama de distribución.* En el diagrama de distribución se representa los puntos de apertura y cierre de las válvulas, así como los ángulos totales que permanecen abiertos y el AE.

Figura 2. Diagrama de distribución



Fuente: (SANZ, 2011)

Tabla 1. Valores medios de las cotas de distribución de motores Otto

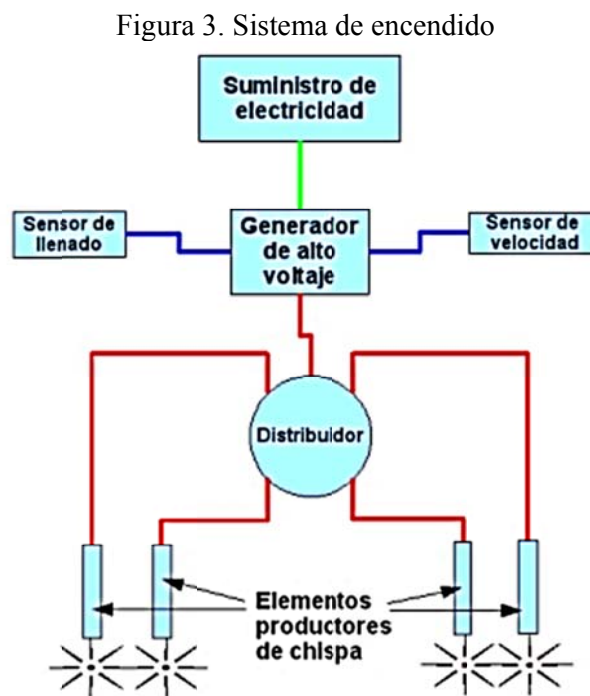
Valores medios de las cotas de distribución de motores Otto				
Admisión		Escape		Cruce
Avance	Retraso	Avance	Retraso	
0° – 15°	40° – 60°	40° – 60°	0° – 20°	0° – 35°

Fuente: (SANZ, 2011)

2.1.6 Sistemas del motor de combustión interna. Los diferentes elementos constitutivos de un motor están acoplados de una manera armónica para formar sistemas, los cuales están descritos a continuación.

2.1.6.1 Sistema de encendido del motor de gasolina. Cuando se habla de sistema de encendido generalmente nos referimos al sistema necesario e independiente capaz de producir el encendido de la mezcla de combustible y aire dentro del cilindro en los motores de gasolina o LPG, conocidos también como motores de encendido por chispa, ya que en el motor Diésel la propia naturaleza de la formación de la mezcla produce su auto-encendido (BRUZOS, 2011).

El diagrama básico del sistema de encendido se representa en la Figura 3., en el cual se muestra un diagrama de bloques de sus componentes.



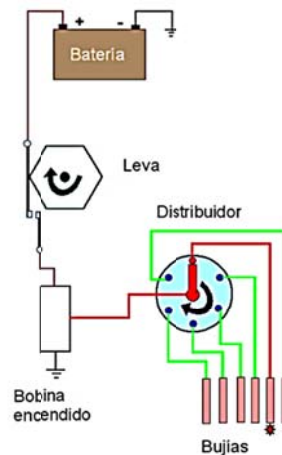
Fuente: (BRUZOS, 2011)

Resulta imprescindible una fuente de suministro de energía eléctrica para abastecer al sistema, este puede ser una batería de acumuladores o un generador. Luego será necesario un elemento que sea capaz de subir el bajo voltaje de la batería, a un valor elevado para el salto de la chispa. Para la elevación del voltaje se usa un transformador elevador que se le llama bobina de encendido (BRUZOS, 2011).

Cuando el motor tiene más de un cilindro se necesita un chispa para cada uno, puede optarse por elaborar un sistema completo independiente por cilindro y de hecho se hace, pero lo más común es que solo haya un sistema generador del alto voltaje que produzca la elevación tantas veces como haga falta (una vez por cilindro) y otro aparato que distribuya la electricidad a la bujía del cilindro correspondiente, este dispositivo se llama distribuidor (BRUZOS, 2011).

En la Figura 4., se muestra un esquema que sirve para entender cómo funciona el distribuidor. Hemos supuesto el sistema de encendido para un motor de seis cilindros (BRUZOS, 2011).

Figura 4. Función del distribuidor



Fuente: (BRUZOS, 2011)

La bobina de encendido es dispositivo que genera alto voltaje necesario para el encendido del motor. La bobina secundaria está envuelta alrededor del núcleo, que es hecho de placas de hierro delgado en capas unidas. Sobre esto, la bobina primaria está enrollada. La corriente es enviada intermitentemente a la bobina primaria de acuerdo con la abertura y cierre de los puntos en el distribuidor, y la bobina secundaria enrollada alrededor del núcleo genera el alto voltaje entregado por la bobina (ACOSTA, 2009).

2.1.6.2 Sistema de alimentación. Es el encargado de proporcionar la cantidad correcta de combustible el cual se mezcla con cierta cantidad de aire para el funcionamiento del motor de combustión interna.

La carburación consiste en realizar una mezcla combustible que permite al motor funcionar en todas sus circunstancias de trabajo. La mezcla aire más gasolina adecuada a cada situación deberá permitir una combustión lo más perfecta posible. (MARTINEZ, 2012)

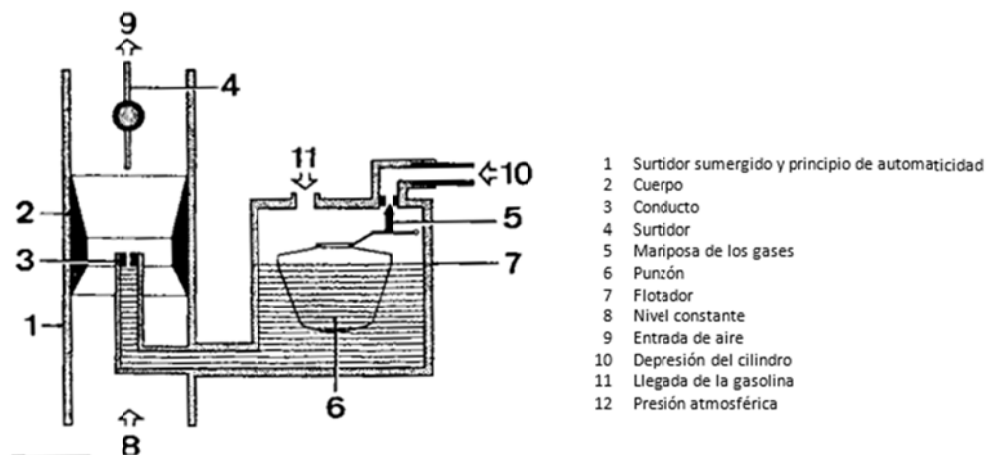
Será necesario intervenir sobre la:

- Dosificación
- Vaporización
- Homogeneización (MARTINEZ, 2012)

El carburador elemental está constituido por un circuito de aire (cuerpo + difusor) dispuesto en los tubos de admisión y de un circuito de gasolina compuesto de una cuba en contacto con la presión atmosférica, de la cual proviene la gasolina que sale por un surtidor calibrado que limita el caudal. (MARTINEZ, 2012)

La variación de la cantidad de mezcla de admisión para los diferentes regímenes de rotación del motor será llevado a cabo gracias a la utilización de una válvula de mariposa dispuesta entre el carburador y los cilindros. (MARTINEZ, 2012)

Figura 5. Carburador elemental



Fuente: (MARTINEZ, 2012)

2.1.6.3 Sistema de distribución. El sistema de distribución es el formado por un grupo de piezas y elementos auxiliares del motor que actúan perfectamente coordinadas para permitir realizar un ciclo completo del motor.

En definitiva, se trata de abrir y cerrar las válvulas en el momento adecuado y siguiendo un diagrama que variara según el tipo del motor. (MARTINEZ, 2012)

Los elementos que forman parte del conjunto del sistema son:

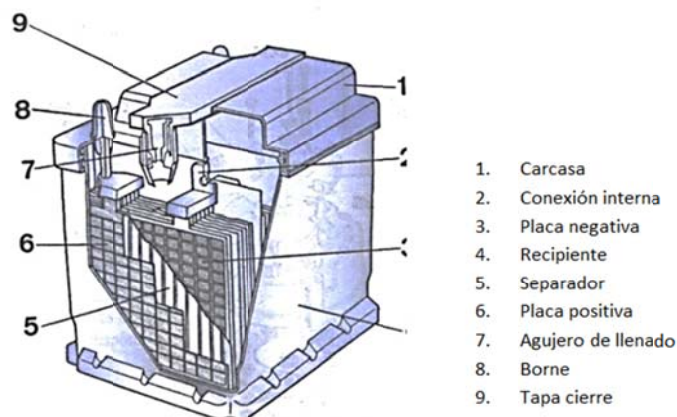
- Válvulas, asientos, guías y elementos de fijación
- Árbol de levas y elementos de mando
- Empujadores y balancines (MARTINEZ, 2012)

Los tipos de transmisión de movimiento de un motor de combustión interna se clasifican por engranajes, cadena, y correa dentada.

2.1.6.4 Sistema eléctrico. Este sistema proporciona la energía a los componentes eléctricos en todo momento como el accionamiento del motor de arranque, al sistema de chispa, activar las luces, aire acondicionado, entro otros. (MARTINEZ, 2012)

La batería es un elemento acumulador de energía que la recibe en forma eléctrica y la almacena en forma química (procesos de carga). En el proceso de descarga se toma la energía de la batería que es transformada en eléctrica y será la encargada de suministrarla a los consumidores eléctricos. (MARTINEZ, 2012)

Figura 6. Batería



Fuente: (MARTINEZ, 2012)

2.1.6.5 Sistema de transmisión. El mecanismo de transmisión del automóvil pertenece el embrague, el cambio de velocidades, el árbol articulado y el accionamiento de las ruedas con el mecanismo de diferencial. Tienen la misión de variar el momento de giro del motor y transmitirlo a las ruedas motrices. (GERSCHLER, 1985)

El embrague transmite el momento de giro del motor al mecanismo de cambio de velocidades. (GERSCHLER, 1985)

El embrague de fricción constituye una unión desacoplable, si se acciona se interrumpe la transmisión de fuerza del motor al cambio de velocidades. El embrague en su posición normal esta por lo tanto acoplado, al accionarlo se desacopla. (GERSCHLER, 1985)

Tipos de embrague:

- De un solo disco
- De doble disco
- Hidrodinámicos
- Centrífugos (MARTINEZ, 2012)

La caja de cambios es el elemento de transmisión que se interpone entre el motor y el resto de los elementos de transmisión de un vehículo para modificar el número de revoluciones en las ruedas, he invertir el sentido de giro cuando lo requiera las necesidades de circulación. (GERSCHLER, 1985)

Las cajas de cambio se pueden clasificar en dos grandes grupos: caja de cambios mecánicas de selección manual y caja de cambios de transmisión automática. (GERSCHLER, 1985)

2.1.6.6 Sistema de refrigeración. Con el fin de obtener un buen rendimiento térmico del motor de combustión interna, durante el proceso de combustión se generan temperaturas muy altas, pudiéndose superar de forma instantánea los 2.000°C. La expansión y posterior expulsión de los gases quemados y la entrada de gases frescos evacuan parte de este calor. Sin embargo, las temperaturas siguen siendo tan altas que podrían originar grandes dilataciones y deformaciones permanentes si no se dispone de un sistema de refrigeración. (SANZ, 2011)

Tabla 2. Temperatura de algunos elementos del motor

Válvula de escape 750°C	Culata 300°C
Válvula de admisión 350°C	Segmentos 250°C
Cabeza del pistón 350°C	Cilindro 200°C

Fuente: (SANZ, 2011)

Los sistemas utilizados habitualmente para realizar la refrigeración pueden ser de dos tipos:

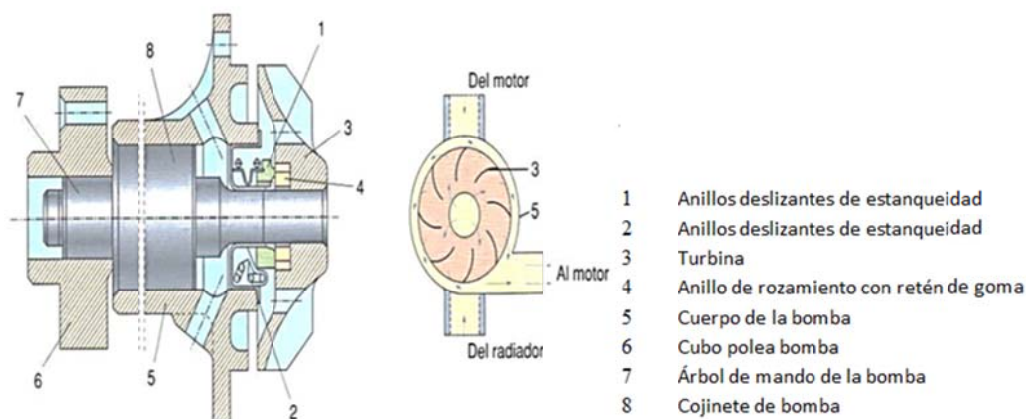
- Refrigeración por aire
- Refrigeración por agua (SANZ, 2011)

En la refrigeración por aire el motor cede calor directamente al aire que se pone en contacto con él. Para facilitar el acceso del aire, el bloque de estos motores está constituido por cilindros independientes. A su alrededor se funden unas aletas, cuyo objetivo es aumentar la superficie, tanto del cilindro como de la culata, lo que permite que haya más cantidad de aire en contacto con las zonas calientes. (SANZ, 2011)

El sistema de refrigeración por agua utiliza un líquido a base de agua como medio para extraer el calor del motor y transportarlo hasta el radiador donde es cedido al aire. Este método tiene la ventaja de proporcionar una refrigeración más eficaz y uniforme permitiendo mantener la temperatura más estable. (SANZ, 2011)

La bomba de agua impulsa el líquido de refrigeración, desplazándolo por el circuito. Es de tipo centrífugo y recibe movimiento del cigüeñal por medio de correa. (SANZ, 2011)

Figura 7. Bomba del líquido refrigerante



Fuente: (SANZ, 2011)

El radiador es un intercambiador de calor entre el líquido y el aire. El calor, transmitido al líquido refrigerante por el motor, es cedido en parte al aire a su paso por el radiador. Se sitúa sobre el vehículo de tal forma que pueda recibir el viento de la marcha y se coloca un ventilador que suministra una corriente de aire. (SANZ, 2011)

El líquido de refrigeración utilizado en los motores también se denomina anticongelante por ser esta su función más conocida. Es un preparado, mezcla de agua y diversos aditivos, los cuales tratan principalmente de conseguir las siguientes características:

- Rebajar el punto de congelación
- Proteger a los metales de la corrosión
- Evitar la formación de espuma (SANZ, 2011)

El principal aditivo es el anticongelante, compuesto por glicerina o alcohol. El producto más utilizado es etilenglicol. (SANZ, 2011)

Tabla 3. Punto de congelación en función del porcentaje de anticongelante

Punto de congelación en función del porcentaje de anticongelante	
Anticongelante puro (%)	Punto de congelación (°C)
20	-10
33	-18
44	-30
50	-36

Fuente: (SANZ, 2011)

2.1.6.7 Sistema de lubricación. El rozamiento entre los órganos móviles del motor origina desgastes, calentamiento y pérdidas de potencia. Entre las superficies que rozan aparece una resistencia que se opone al desplazamiento, cuyo valor está en función de su grado de adherencia y de la presión de contacto. Esta fuerza resistente adsorbe una cantidad de energía mecánica que se transforma en calor. El exceso de calor puede llegar a provocar daños como la fundición de las superficies rozantes. (SANZ, 2011)

La principal función de la lubricación es evitar, o reducir todo lo posible, el contacto directo entre los metales en movimiento. La holgura o juego de montaje que existe entre dos piezas móviles es ocupado por el aceite de engrase, que tiene la propiedad de adherirse a las superficies formando una película lubricante. (SANZ, 2011)

2.1.7 *Parámetros fundamentales del motor de combustión interna.* La definición de los parámetros fundamentales involucrados ayuda a la comprensión y análisis del funcionamiento del motor de combustión interna, la información citada a continuación es primordial para la correcta preparación de motor y así evitar daños de los sistemas y elementos que intervienen en el motor.

2.1.7.1 *Cilindrada.* Es la suma del volumen ocupado por el conjunto de pistones desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI). (MARTÍNEZ, 2012)

Cilindrada unitaria:

$$Cu = \left(\frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \right) \quad (1)$$

Dónde:

Cu = cilindrada unitaria

D = diámetro del pistón

L = carrera

Cilindrada total:

$$Ct = Cu \times i \quad [\text{cm}^3] \quad (2)$$

Dónde:

Ct = cilindrada total

Cu = cilindrada unitaria

i = número de cilindros del motor

2.1.7.2 *Carrera.* Es la distancia que recorre el pistón en el cilindro desde el PMI hasta el PMS, dicha distancia es altura del cilindro. (MARTÍNEZ, 2012)

2.1.7.3 *Relación de compresión.* Es la relación entre el volumen máximo del cilindro, cuando el pistón se encuentra en el PMI y el volumen mínimo cuando el pistón está en el PMS. (MARTÍNEZ, 2012)

Relación de compresión:

$$Rc = \frac{Cu+Vc}{Vc} \quad (3)$$

Dónde:

Rc = relación de compresión

Cu = cilindrada unitaria

Vc = volumen de la cámara de combustión

2.1.7.4 *Consumo específico del combustible.* Este parámetro determina con cuanta eficiencia se convierte el combustible en trabajo. (MARTÍNEZ, 2012)

Masa de combustible:	$m = 100 \times d$
Densidad de combustible:	$d = 0,73 \text{ g/cm}^3$
Tiempo empleado:	$t(h) = t(s)/3600$

$$C_e = \frac{(3,6 \times 10^5) \times d}{P \times t} \left[\frac{g}{kW} \cdot h \right] \quad (4)$$

Dónde:

Ce = consumo específico del combustible

d = densidad de la gasolina

P = potencia

t = tiempo empleado que tarda en consumirse 50cm³ de combustible

2.1.8 *Rendimiento del motor.* Es el balance resultante entre la cantidad de energía aportada y la obtenida en una máquina. (SANZ, 2011)

$$\eta = \frac{\text{energía obtenida}}{\text{energía aportada}} \times 100\% \quad (5)$$

2.1.8.1 *Rendimiento térmico.* Aumenta con la relación de compresión, ya que se consigue mayores temperaturas y, por tanto, mayores presiones. (SANZ, 2011)

$$\eta_t = \frac{P}{m_t \times Q} \quad (6)$$

Dónde:

η_t = rendimiento térmico

P = potencia efectiva

m_t = masa de combustible consumida por unidad de tiempo

Q = poder calorífico

2.1.8.2 Rendimiento mecánico. Expresa el trabajo interno obtenido dentro del cilindro en el que no intervienen las pérdidas mecánicas. (SANZ, 2011)

$$\eta_m = \frac{P}{P_I} \quad (7)$$

Dónde:

η_m = rendimiento mecánico

P = potencia efectiva

P_I = potencia indicada

2.1.8.3 Rendimiento efectivo. Es el balance entre el total de pérdidas y el 100% de la energía contenida en el combustible consumida del motor de combustión interna. (SANZ, 2011)

$$\eta_e = \frac{K}{c_e} \quad (8)$$

Dónde:

η_e = rendimiento efectivo

Ce = consumo específico

K = Constante 81,8

2.1.8.4 Rendimiento volumétrico. Es el grado de eficacia con que se logra llenar el cilindro. (SANZ, 2011)

$$\eta_v = \frac{M_a}{M_c} \quad (9)$$

Dónde:

η_v = rendimiento volumétrico

M_a = masa de gas que es introducido en el cilindro en un ciclo

M_c = masa que teóricamente cabe en el volumen del cilindro

2.1.9 *Características principales de los motores de combustión interna.* Las características que definen las prestaciones que se obtienen en un motor son el par motor, la potencia y el consumo específico del combustible, estas características no son constantes para todo su rango de trabajo y las variaciones van con el giro producido por el cigüeñal.

Estos parámetros identifican el tipo de motor proporcionando obteniendo una referencia en cuanto a sus características de funcionamiento. El fabricante suministra estos datos obtenidos mediante ensayos en el banco de pruebas; en los motores Otto las pruebas se realizan con la apertura total de la mariposa de aceleración.

2.1.9.1 *Torque.* Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar el motor desde su eje principal, es decir la fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por esta al codo del cigüeñal, para hacer girar y producir un esfuerzo de rotación. (MARTÍNEZ, 2012)

$$M = F \times d [N - m] \quad (10)$$

Dónde:

M = par motor

F = fuerza

d = distancia

2.1.9.2 *Potencia.* Es la cantidad de trabajo que se puede realizar en un determinado tiempo. (MARTÍNEZ, 2012)

$$P = \frac{M \times n}{9550} [KW] \quad (11)$$

Dónde:

P = potencia

M = par motor

n = rpm

2.1.9.3 *Potencia al freno.* Es la obtenida en el eje de salida del motor, viene a ser la fuerza verdadera que impulsa el automóvil, esta fuerza es medida en el banco dinamométrico. (MARTÍNEZ, 2012)

$$Pf = M \times w = \frac{M \times 2\pi N}{60} [KW] \quad (12)$$

Dónde:

M = Par motor

w = velocidad angular

N = revoluciones por minuto

2.1.9.4 *Factor de corrección.* Cuando las mediciones obtenidas en el lugar que se realizan las pruebas son diferentes a las referenciales se debe calcular el factor de corrección con la siguiente fórmula.

$$K_a = \frac{760}{P_a} \left(\frac{T_a}{293} \right)^{0,5} \quad (13)$$

Dónde:

K_a = factor de corrección

P_a = presión atmosférica

T_a = temperatura ambiente (en grados Kelvin)

2.1.9.5 *Coefficiente de elasticidad.* La elasticidad del motor de combustión interna se puede definir como la capacidad de respuesta ante los cambios de carga del mismo. (SANZ, 2011)

$$E = E_p \times E_n \quad (14)$$

Dónde:

E = coeficiente de elasticidad

E_p = Elasticidad de par

E_n = Elasticidad de régimen

- La elasticidad de par.

$$E_p = \frac{M_{m\acute{a}x}}{M_{P_{m\acute{a}x}}} \quad (15)$$

Dónde:

E_p = elasticidad de par

$M_{m\acute{a}x}$ = par máximo

$M_{P_{m\acute{a}x}}$ = par a la potencia máxima

- La elasticidad de régimen.

$$E_n = \frac{n_{P_{m\acute{a}x}}}{n_{M_{m\acute{a}x}}} \quad (16)$$

Dónde:

E_n = elasticidad de régimen

$n_{P_{m\acute{a}x}}$ = régimen de potencia máxima

$n_{M_{m\acute{a}x}}$ = régimen de par máximo

Nota: los valores medios especificados por los fabricantes de elasticidad son 1,5 y 4. Motores elásticos cuando los resultados nos dan entre 1,5 y 2. Motores muy elásticos cuando los resultados nos dan entre 3 a 4.

2.1.9.6 Presión media efectiva. Este parámetro mide grado de aprovechamiento de la cilindrada para obtener trabajo útil. (SANZ, 2011)

$$PME = \frac{1,2 \times 10^6 \times P}{V \times n} \quad (17)$$

Dónde:

PME = presión media efectiva

P = potencia en kW

V = cilindrada en cm³

n = rpm

CAPITULO III

3. MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.1 Por el aumento de la cilindrada

El aumento de la cilindrada es la cantidad de centímetros cúbicos que determina la capacidad del conjunto de los cilindros del motor. A través de la cilindrada podemos obtener la potencia por cilindrada, que indica la máxima potencia útil que da el motor por cada litro de cilindrada. (MARTÍNEZ, 2012)

3.1.1 *Aumentar el diámetro del cilindro.* El sistema más efectivo para obtener más cilindrada es aumentar el diámetro del cilindro, bastan muy pocos milímetros para que se noten resultados importantes en el comportamiento del motor. El sistema consiste, en rebajar las paredes del cilindro por medio de una rectificadora, la cantidad de milímetros o fracción que sea posible. (MARTÍNEZ, 2012)

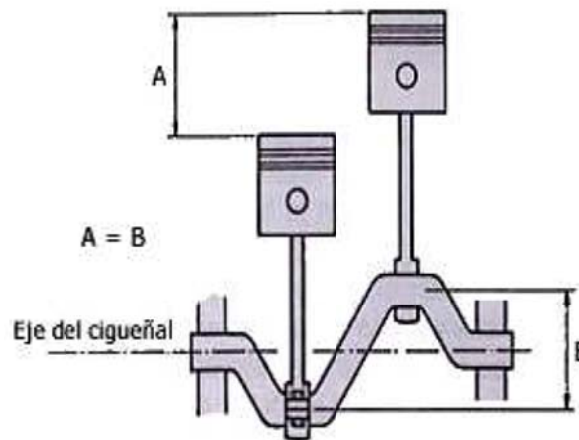
El aumento de cilindrada por este procedimiento presenta la forma más adecuada de aumentar la potencia del motor, pues es el que menos compromete la armonía que existe en los mecanismos que intervienen en la modificación con respecto a todos los demás mecanismos del motor; pero presenta varias dificultades que hay que superar previamente. (MARTÍNEZ, 2012)

En primer lugar se debe tener en cuenta si los pistones de la sobre medida que se va a someter al cilindro exista en el mercado local caso contrario realizar la respectiva importación; teniendo en cuenta que el material de fabricación de los pistones con la nuevas dimensiones, sean del mismo material de fabricación y de la forma original de los pistones estándar del motor para evitar desequilibrio del sistema.

Otra de las dificultades que se puede presentar al momento de adquisición de los pistones es el diseño de la cabeza el cual se debe tener muy en cuenta al momento de la adquisición de los pistones nuevos para que no exista ninguna variable en el juego libre de las válvulas cuando se encuentren en funcionamiento.

3.1.2 *Aumentar la carrera del pistón.* Para aumentar la carrera del pistón se debe aumentar los milímetros de subida y bajada del pistón y como la carrera del pistón depende de la distancia a que está colocada en la muñequilla del cigüeñal tal como se muestra en la Figura 8, (en donde la distancia A que constituye la carrera es la misma que la distancia B), modificando esta distancia podemos obtener una mayor carrera del pistón. (MARTÍNEZ, 2012)

Figura 8. Carrera del pistón



FUENTE: (MARTÍNEZ, 2012)

En los cigüeñales que son de varias piezas, la mejor solución es aumentar la cota B, a base de aumentar el nivel de la muñequilla. Para ello se han de construir piezas especiales que se acoplen al cigüeñal en este sentido.

3.2 Por el aumento de la presión media efectiva (PME)

El aumento de la presión media efectiva (PME) constituye otro de los factores fundamentales de la posibilidad de trucaje de un motor para lograr que proporcione más potencia el mismo.

3.2.1 *Aumento de la relación de compresión.* El aumento de la relación de compresión se lo lleva a cabo por medio del aumento de la cilindrada del motor y/o la reducción del volumen de la cámara de combustión. La relación de compresión nos indica el nivel de compresión al que se somete la mezcla en el interior de la cámara de combustión, en los motores Otto la elevación de la relación de compresión mejora el rendimiento del motor, y así mismo la economía del combustible. (MARTÍNEZ, 2012)

Este fenómeno se produce por la acción de la mayor presión de la combustión, que hace que los gases quemados se expandan hasta un volumen mayor, y empujen al pistón durante un recorrido más largo, produciendo un mayor trabajo en el tiempo de explosión. Entre otras ventajas tenemos, mejor evacuación de los gases de escape, una completa gasificación de la mezcla y menos pérdidas de calor en la cámara de combustión. (MARTÍNEZ, 2012)

Obteniendo como desventajas un aumento de temperatura, con lo cual empiezan las limitaciones por la elevación de la relación de compresión, ya que dependiendo del tipo de combustible que se utilice (índice de octanaje), se producen los fenómenos de pre encendido y detonación, que no son más que combustibles anormales que disminuyen el rendimiento del motor y su vida útil. (MARTÍNEZ, 2012)

3.2.2 *Mejorando las condiciones de funcionamiento de las válvulas.* Es el lapso en que las dos válvulas permanecen abiertas. Por la inercia de los gases que salen del cilindro impiden que la nueva mezcla regrese por la admisión cuando se gira a altas revoluciones. Si se quiere lograr un aumento de potencia del motor, se debe lograr que a la cámara de combustión ingrese la mayor cantidad de mezcla aire-combustible. (MARTÍNEZ, 2012)

La mayor circulación de gases frescos depende del diámetro que poseen las cabezas de las válvulas porque de ellas influye una mejor respiración de cada uno de los cilindros así como la cantidad y velocidad que circulan en la cámara. (MARTÍNEZ, 2012)

Para lograr aumentar la potencia se colocan válvulas más grandes previa modificación de los asientos de válvulas tanto en tamaño como en ángulos. Normalmente la válvula de admisión es en el orden del 15% más grande en diámetro que la de escape. (MARTÍNEZ, 2012)

La velocidad máxima del pistón en el tiempo de admisión, se alcanza antes de la apertura máxima de la válvula, por lo que si la válvula se abre antes, podría mejorar la respiración del motor, hay que tomar en cuenta que mientras mayor sea el cruce de válvulas mejor será la refrigeración del cabezote y la cabeza del pistón y evitar dilatación excesiva de estos elementos. (MARTÍNEZ, 2012)

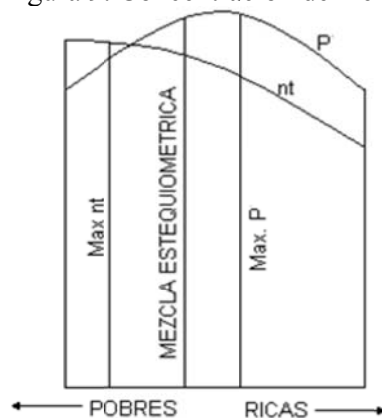
3.2.3 Aumento de la entrada de aire y combustible. Para mejorar el rendimiento del motor es necesario optimizar la mezcla aire/gasolina que ingresa a los cilindros, los motores serie están restringidos por cuestiones ambientales y de economía de combustible. (MARTÍNEZ, 2012)

La mezcla debe estar en condiciones de presión, temperatura, estequiométrica y miscibilidad adecuadas para obtener el mayor provecho de la misma. Para esto se recurre a la sección de carburadores independientes de altas prestaciones o sistemas de inyección programables, con estos sistemas garantizamos la distribución uniforme de la mezcla. (MARTÍNEZ, 2012)

La concentración de la mezcla es una de las variables de operación más importantes, ya que la variación de la misma afecta al comportamiento de la potencia, economía de combustible, contaminación y estabilidad de operación, las mejores condiciones de funcionamiento de un motor se consigue con la relación estequiometria de 14,7:1. (MARTÍNEZ, 2012)

Pero en la práctica la potencia de salida máxima se obtiene con mezclas ligeramente ricas, mientras que la economía de combustible y la eficiencia térmica son máximas con mezclas relativamente pobres lo cual se ilustra en la Figura 9. (MARTÍNEZ, 2012)

Figura 9. Concentración de mezcla



Fuente: (MARTÍNEZ, 2012)

En cuanto al flujo de calor a través de las paredes del cilindro, se alcanza su máxima intensidad, cuando la concentración de mezcla es la correcta y disminuye conforme se haga más rica o más pobre. (MARTÍNEZ, 2012)

3.3 Por el aumento del régimen de giro

Al ser un motor de combustión interna una máquina que posee cuerpos rígidos, agrupados y conectados de tal forma que tiene movimientos determinados entre sí, se debe considerar que hay que vencer la resistencia de la inercia de los elementos. (MARTÍNEZ, 2012)

Para lo cual se debe tener en cuenta que el sistema se encuentra en equilibrio evitando así producir vibraciones perjudiciales, las mismas que se agudizan al aumentar las rpm, esto es debido a los desfases de las partes móviles. (MARTÍNEZ, 2012)

3.3.1 *Aligerando masa que están en movimiento.* El proceso de aligerado se lo realiza en el tren alternativo, incluyendo la polea del cigüeñal y el volante de inercia, esto permite reducir la inercia de cada elementos lo que permite mejorar la respuesta en la aceleración. (MARTÍNEZ, 2012)

En las bielas, pistones, rines, cojinetes se realiza trabajos de reducción de peso los mismos que se centran en el pulido, reducción del material e igualación de peso. En cambio en el cigüeñal, volante y polea se repiten los procesos anteriores descritos más un balanceo estático y dinámico. (MARTÍNEZ, 2012)

La desventaja de este procedimiento es la reducción de las resistencias mecánicas de los elementos, en la fórmula 1 se está utilizando en la actualidad materiales cerámicos para la construcción de estos elementos, los mismos que son hasta un 70% más ligeros y con mejores propiedades como dureza – rigidez, alto punto de fusión, menor rozamiento y mejora en el rendimiento térmico al ser aislantes térmicos. (MARTÍNEZ, 2012)

CAPITULO IV

4. ESTADO DEL MOTOR YAMAHA 400CC ANTES DE LA PREPARACIÓN

En este apartado se realiza un estudio general de la situación del motor, mediante algunas pruebas seguidamente descritas y con la ayuda del banco dinamométrico se obtienen los datos necesarios para realizar los cálculos que se requieren para este objetivo.

A continuación se presenta la Tabla 4., con la información general proporcionada por los fabricantes del motor Yamaha 400cc.

Tabla 4. Información del motor Yamaha 400cc

Información general	
Modelo:	Yamaha FZR 400
Año:	1989
Categoría:	Deporte
Motor y transmisión	
Desplazamiento :	399.00 cc (24.35 pulgadas cúbicas)
Tipo de motor:	En línea, de cuatro tiempos
Max RPM :	14000
Compresión :	11.5: 1
Diámetro x carrera:	56,0 x 40,5 mm (2,2 x 1,6 pulgadas)
Las válvulas por cilindro:	4
Sistema de combustible:	Carburador. Cuatro Mikuni BDST32
Control de combustible:	Doble árbol de levas / Twin Cam (DOHC)
Encendido:	TDI digital
Bujía	NGK, CR8E
Par Máximo	3,7 Kgf-m a 10000 rpm
Potencia	50 hp a 11500 rpm
Sistema de lubricación:	Cárter húmedo
Sistema de refrigeración:	Líquido
Caja de cambios:	6 velocidades
Tipo de transmisión, transmisión final:	Cadena
Otras especificaciones	
Motor de arranque:	Eléctrico

Fuente: (Holm, 1999)

4.1 Revisión del motor Yamaha 400cc

Se realiza algunas pruebas con las cuales se obtuvieron datos, para el análisis y estudio, concluyendo con una apreciación del estado en que se encuentran los elementos del motor Yamaha 400cc.

- Se realizó la medición de compresión con la ayuda de un manómetro, obteniendo una lectura de 30 PSI. Esta presión es inadecuada por lo tanto incide que existe alguna falla.

Figura 10. Medición de la compresión



Fuente: Autores

- Se tomó la medición del vacío de cada uno de los carburadores obteniendo medidas entre 2 - 5cm.hg, lo cual indica fallas en los carburadores.

Figura 11. Medición de vacío de los carburadores



Fuente: Autores

- Se midió la resistencia de los cables de bujías dando como resultado en un rango de 4 – 5,5 K Ω , indicando que los cables de bujías están en el rango adecuado.

Figura 12. Medición de resistencia



Fuente: Autores

- Se realizó la prueba en el banco dinamométrico obteniendo los datos para realizar los respectivos cálculos.

Figura 13. Motor colocado en el banco dinamométrico



Fuente: Autores

4.2 Pruebas en el banco dinamométrico del motor Yamaha 400 cc estándar

Cumpliendo con la normativa de la Fórmula SAE, el motor seleccionado es de 400cc, con el cual se procede a la obtención de los datos con la ayuda del banco dinamométrico el cual es de marca Borghi & Saveri FA-200/30 SPV. En la Tabla 5, se muestra los valores obtenidos.

Tabla 5. Datos obtenidos en el banco dinamométrico

Datos obtenidos en la prueba				
Régimen	Par motor	Consumo (50cm³)	Presión atmosférica	Temperatura ambiente
n= rpm	M= N-m	t= seg	P_a= mmHg	T_a= °C
5300	6,47	30	763,83	19,4
5000	6,86	35	763,83	18,6
4700	5,98	38	763,83	15,2
4100	5,49	40	763,83	18,4
3800	4,90	44	763,83	19
3300	4,70	47	763,83	18,4
2900	3,82	50	763,83	19,3

Fuente: Autores

4.2.1 *Cálculo de potencia y Consumo.* Para la valoración del motor Yamaha 400cc es necesario la obtención de la potencia y del consumo específico de combustible del mismo los cuales se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Cálculos de potencia y consumo

Régimen (rpm)	Par motor (N-m)	Potencia (kW)	Consumo (g/kW.h)
5300	6,47	3,59	2440,11
5000	6,86	3,59	2091,52
4700	5,98	2,94	2352,31
4100	5,49	2,36	2783,90
3800	4,90	1,95	3062,94
3300	4,70	1,62	3451,54
2900	3,82	1,16	4531,03

Fuete: Autores

4.2.2 *Factor de corrección (K_a).* Las pruebas se realizaron a diversas horas del día, en condiciones de presión atmosférica constante y temperatura variables, por esta razón es necesario el cálculo del factor de corrección que permite corregir los valores de potencia y consumo específico de combustible, ya que estos parámetros influyen en el rendimiento volumétrico del motor Yamaha 400cc. Para obtener K_a se realiza el cálculo del promedio de las temperaturas ambientes obtenidas en el momento de las pruebas.

$$K_a = \frac{760}{P_a} \left(\frac{T_a}{293} \right)^{0,5}$$

$$K_a = \frac{760}{763,83} \left(\frac{288,7}{293} \right)^{0,5}$$

$$K_a = 0,995(0,985)^{0,5}$$

$$K_a = 0,987$$

En la Tabla 7, se detalla todos los valores obtenidos, aplicando el factor de corrección. Para los valores de par motor se multiplica por el factor de corrección, de la misma manera para la potencia y para los valores de consumo de combustible se divide para el factor de corrección obteniendo los resultados reales que servirán para iniciar los respectivos cálculos de elasticidad del motor, potencia media efectiva y potencia al freno.

Tabla 7. Cálculo potencia y consumo aplicando el factor de corrección

Régimen (rpm)	Par motor (N-m)	Potencia (kW)	Consumo (g/kW.h)
5300	6,39	3,54	2472,25
5000	6,77	3,54	2119,07
4700	5,90	2,90	2383,29
4100	5,42	2,33	2820,57
3800	4,84	1,92	3103,28
3300	4,64	1,60	3497,00
2900	3,77	1,14	4590,71

Fuente: Autores

4.2.3 Cálculo elasticidad de par (E_p).

$$E_p = \frac{M_{max}}{M_{P_{max}}}$$

$$E_p = \frac{6,77}{6,39}$$

$$E_p = 1,05$$

4.2.4 Cálculo elasticidad de régimen (E_n).

$$E_n = \frac{n_{P_{m\acute{a}x}}}{n_{M_{m\acute{a}x}}}$$

$$E_n = \frac{5300}{5000}$$

$$E_n = 1,06$$

4.2.5 Cálculo del coeficiente de elasticidad.

$$E = E_p \times E_n$$

$$E = 1,05 \times 1,06$$

$$E = 1,1$$

El motor Yamaha 400cc se considera poco elástico ya que se encuentra en el rango de valores de 1 y 2.

4.2.6 Cálculo presión media efectiva y potencia al freno. En la Tabla 8, se detalla el grado de aprovechamiento de la cilindrada para la obtención del trabajo útil y la fuerza real producida por el motor Yamaha 400cc definida como potencia al freno.

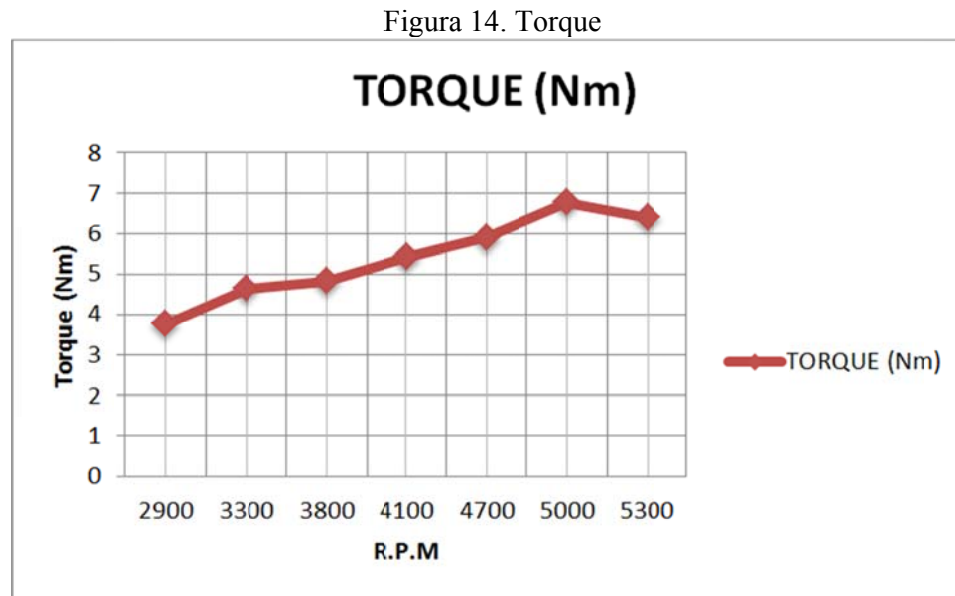
Tabla 8. Cálculo PME y potencia al freno

Régimen (rpm)	Potencia (kW)	Presión media efectiva (bar)	Potencia al Freno (kW)
5300	3,54	2,01	3546,54
5000	3,54	2,13	3544,76
4700	2,90	1,86	2903,88
4100	2,33	1,71	2327,08
3800	1,92	1,52	1926,01
3300	1,60	1,46	1603,47
2900	1,14	1,18	1144,90

Fuente: Autores

4.3 Gráficas de torque, potencia y consumo específico de combustible

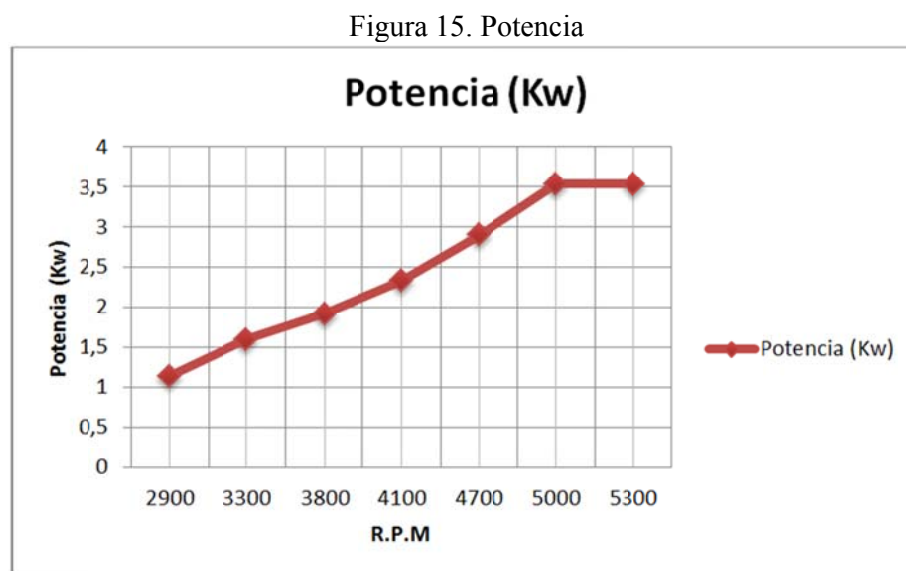
En la Figura 14, se expresa los datos de torque o par motor obtenidos en la Tabla 7.



Fuente: Autores

Se observa el aumento del torque a medida que aumenta las revoluciones, llegando a un torque máximo de 6,77 N – m, a 5000 revoluciones.

En la Figura 15, se expresa los valores de Potencia obtenidos en la Tabla 7.

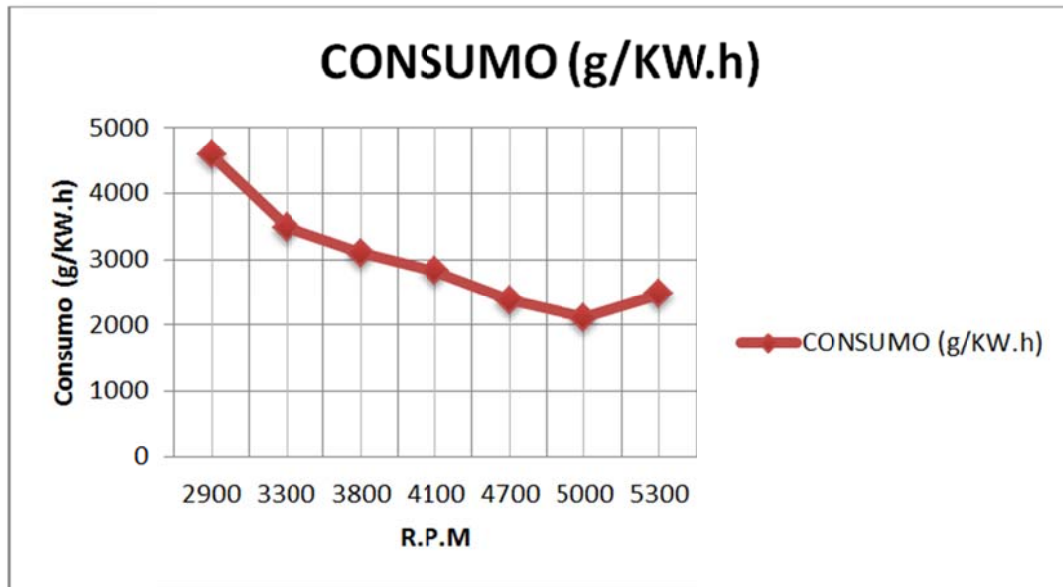


Fuente: Autores

Se observa el aumento de la potencia a medida que aumenta las revoluciones, llegando a una potencia máxima de 3,54 kW a 5300 revoluciones.

En la Figura 16, se expresa los datos de consumo de combustible obtenidos en la Tabla 7 antes descrita.

Figura 16. Consumo específico de combustible



Fuente: Autores

Se observa la disminución de consumo de combustible a medida que aumenta las revoluciones, llegando a un consumo específico de combustible máximo de 4590,71 a 2900 revoluciones.

4.4 Valoración de los elementos y sistemas del motor Yamaha 400cc

Una vez obtenido los datos se observa que el motor se encuentra en condiciones desfavorables no aptas para el trabajo que se requiere por ese motivo se procede al desarmado del motor Yamaha 400cc., para observar el estado de los elementos constitutivos, localizar las averías y repararlo.

Para ello se evalúa los diferentes sistemas y partes del motor, valorando su estado en una escala que tiene como máximo 100%, un valor intermedio del 50% y el valor mínimo del 0%. En la Tabla 9, que se presenta a continuación se detalla las partes del motor y su estado.

Tabla 9. Partes del motor y su estado

Nombre	Descripción	Estado de valoración (%)
Pistones	Adherencia excesiva de carbón en la cabeza del pistón.	70
Anillos (rines)	Se observó que los anillos no eran los adecuados por esa razón no existía cierre entre la puntas.	50
Bulones	Desgaste.	80
Cilindros	Se encontraban rayados y con desgaste excesivo.	60
Culata	Se encontraba con exceso de carbón.	90
Árbol de levas	No se encontró ninguna falla.	95
Balancines	No se encontró ninguna falla	98
Válvulas	No se encontró ninguna falla	90
Cadena de distribución	No se encontró ninguna falla	95
Bielas	No se encontró ninguna falla	97
Cigüeñal	No se encontró ninguna falla	98
Semicojinetes	No se encontró ninguna falla	95
Propulsores	No se encontró ninguna falla	95

Fuente: Autores

Figura 17. Partes del motor



Fuente: Autores

4.4.1 *Valoración del sistema de encendido.* Las diferentes partes del sistema de encendido evaluadas se indican en la Tabla 10, a continuación descrita. Indicando un porcentaje mayor de 90%, y un valor mínimo de 60 %.

De la misma forma se expresa los componentes del sistema de encendido con su respectiva descripción, en la cual se detalla la falla con la que se encuentra dichos elementos.

Tabla 10. Partes y estado del sistema de encendido

Nombre	Descripción	Estado de valoración (%)
Bujías	Se encontraban con carbonilla, oxidadas e impurezas.	60
Cables de bujías	Capuchón aislante roto.	80
Bobinas	No se encontraron fallas, pero no eran las bobinas adecuadas para este motor.	90
Pulsadores	No se encontraron fallas, pero este elemento no es adecuado para este motor.	90
Magneto	No se encontraron fallas, pero este elemento no es adecuado para este motor.	80
CDI	No se encontraron fallas, pero este elemento no es adecuado para este motor.	80
Motor de arranque	Desgaste en el piñón de ataque.	70

Fuente: Autores

4.4.2 *Valoración del sistema de alimentación.* Los distintos elementos del sistema de alimentación evaluados se indican en la Tabla 11, a continuación descrita.

Tabla 11. Partes y estado del sistema de alimentación

Nombre	Descripción	Estado de valoración (%)
Cañerías	Presentaba fugas.	50
Carburadores	Mala calibración e impurezas.	70
Filtro de combustible	Con impurezas	30

Fuente: Autores

4.4.3 *Valoración del sistema de lubricación.* Los elementos que forman parte del sistema de lubricación del motor Yamaha 400cc se indican en la Tabla 12, a continuación descrita.

Tabla 12. Partes y estado del sistema de lubricación

Nombre	Descripción	Estado de valoración (%)
Aceite	Deteriorado	30
Filtro de aceite	Sucio	70
Carter	Con impurezas	98
Bomba de aceite	No presenta fallas.	95

Fuente: Autores

4.4.4 *Valoración del sistema de refrigeración.* Los elementos que forman parte del sistema de refrigeración evaluados se indican en la Tabla 13, a continuación descrita.

Tabla 13. Partes y estado del sistema de refrigeración

Nombre	Descripción	Estado de valoración (%)
Bomba de agua	No se presenta ninguna falla.	98
Cañerías	Presentan fugas.	50
Radiador	En buen estado.	90
Ventilador	Funcional	90

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. PREPARACIÓN DEL MOTOR YAMAHA 400CC

Para el motor Yamaha 400cc se ejecutaron los siguientes métodos de preparación:

- Aumento del diámetro del cilindro
- Aumento de la relación de compresión
- Mejorando las condiciones de mejoramiento de las válvulas
- Aumento de la entrada de aire y combustible
- Aligerando masas que están en movimiento

Estos métodos se consideran los más fiables para la aplicación en el motor Yamaha 400cc, con la finalidad de obtener una mayor potencia y un mejor aprovechamiento del mismo, sin ocasionar disminución de la seguridad de los elementos y sistemas constitutivos del motor.

5.1 Bloque de cilindros

El bloque de cilindros del motor, están fabricado aleación ligera de aluminio que tiene como ventaja una buena conductividad térmica y menor peso. La configuración del bloque de cilindros es en línea y de cuatro cilindros, lo que hace que el motor sea más equilibrado.

5.1.1 *Estado del bloque de cilindros.* Al momento del desmontaje se observó que las paredes de los cilindros se encuentran con rayaduras y grietas por lo cual se procedió al rectificado.

Figura 18. Bloque de cilindros del motor Yamaha



Fuente: Autores

El trabajo se lo realizó en los cilindros del motor Yamaha 400cc, en lo cual se utiliza una rectificadora vertical para la eliminación de alguna conicidad u ovalamiento, obteniendo la adecuada medida de rectificación según el desgaste. En la Tabla 14, se muestra valores de rectificación dados por los fabricantes, los cuales son los más frecuentes en realizar.

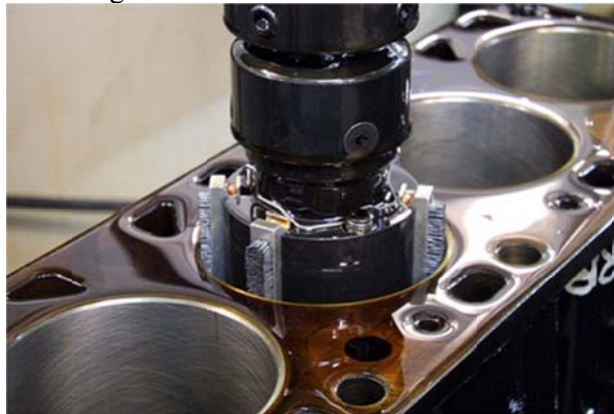
Tabla 14. Valores de rectificación

Pulgadas	Milímetros
0,010	0,25
0,020	0,50
0,030	0,75
0,040	1,00

Fuente: (SANZ, 2011)

En el motor Yamaha 400cc se rectificó + 0,010 pulgadas (0,25mm), obteniendo un aumento del diámetro, el cual es 56,25 mm y una cilindrada de 402,58cm³, mejorando la potencia del motor.

Figura 19. Rectificado de los cilindros



Fuente: (ADV, 2014)

La ganancia con respecto al motor sin rectificar es de:

$$402,58 \text{ cm}^3 - 399,00 \text{ cm}^3 = 3,57 \text{ cm}^3$$

Una vez terminado el rectificado se realizó el bruñido, el cual consiste en dejar al cilindro con una superficie que distribuya el aceite, sirva como reserva de aceite y dé lugar a que escapen las partículas de metal producidas por el desgaste y las partículas abrasivas.

Figura 20. Bloque rectificado



Fuente: Autores

5.1.2 *Verificación de holguras permisibles.* Es muy importante en un motor de competencia asegurarse que las tolerancias y juegos sean los correctos, estos valores difieren de los motores en serie debido a que un motor de alto desempeño está sometido a mayores esfuerzos mecánicos y térmicos. Por lo que se opta por la selección de los valores máximos especificados en el manual del fabricante como norma general en el trucaje del motor en serie. Asegurando la fiabilidad del motor en competencia.

5.2 Pistones

El peso del pistón de un motor está calculado de tal manera que forme parte de las masas de inercia que se produce. Por lo tanto da buen resultado, para aumentar el régimen de giro, aligerar el peso de esta pieza móvil.

Figura 21. Pistones estándar



Fuente: Autores

5.2.1 *Selección de los pistones.* Estos elementos están sometidos a grandes cargas mecánicas y térmicas, por estas razones se debe seleccionar pistones de calidad que cumplan con las características de funcionamiento del motor.

Los pistones que cumplen con los requerimientos son los pistones forjados los cuales están fabricados mediante procesos de fundición y estampado, la desventaja de la utilización de los pistones forjados es su alto costo y la escasez de proveedores en nuestro medio por ello se opta por la modificación de los pistones de serie.

Figura 22. Pistones sobremedidas

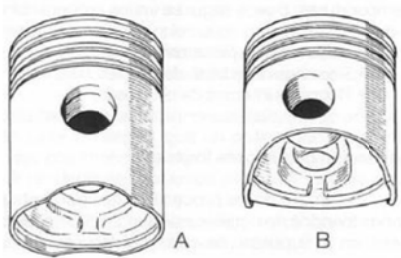


Fuente: Autores

5.2.2 *Recortes de la falda de los pistones.* El recorte consiste en la eliminación de material de la zona de la falda del pistón, obteniendo una reducción de peso y una disminución de la superficie que se encuentra en contacto con las paredes del cilindro.

En el motor se realizó la disminución de la falda del pistón teniendo la longitud total del pistón de 48mm. Este trabajo se efectúa sencillamente, cortando a una distancia de unos 5 o 10 mm por debajo de los muñones del alojamiento del eje de pistón.

Figura 23. Corte de falda del pistón



Fuente: (GILLIERI, 1998)

El recorte del material de la falda del pistón se lo realizó en las zonas laterales no sometidas a empuje. Los recortes de material deben ser exactamente los mismos en los demás pistones de modo que todos tengan la misma forma y el mismo peso cuando el trabajo haya finalizado.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Medir la distancia correspondiente para el corte de la falda el cual es de 5mm por debajo de la zona del bulón.
- Realizar el trazo inicial para verificar medidas.
- Realizar el corte de la falda.
- Realizamos los pasos del 1 al 3 para los otros pistones de modo que todos tengan la misma medida y forma.

Figura 24. Corte de la falda del pistón



Fuente: Autores

5.2.3 *Perforaciones del pistón.* Este trabajo mejora la efectividad de la lubricación, consiste en realizar unas perforaciones del pistón, dichas perforaciones retienen una cantidad de aceite en su interior proporcionando una cantidad de aceite extra para su lubricación.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Construir una plantilla de cartón de la forma de la falda del pistón, seguidamente se hace una distribución simétrica de 7 perforaciones, se debe tener en cuenta de no debilitar la estructura en sus contornos.
- Señalar los puntos de referencia y posteriormente se marca los mismos con la ayuda de un martillo y un punzón.

- Realizar las perforaciones con la ayuda del taladro de columna y la broca de 3mm.
- Realizar los pasos del 1 al 3 en los otros pistones, procurando la uniformidad.

Figura 25. Perforaciones del pistón



Fuente: Autores

5.2.4 *Equilibrado de los pistones.* Se debe controlar cuidadosamente el peso de los pistones, para que sea el mismo, para conseguirlo se requerirá la ayuda de una balanza. Las modificaciones deben ser realizadas de forma semejante, para evitar que exista un desequilibrio en el conjunto biela – pistón.

Se puede obtener una tolerancia de peso entre el pistón más ligero y el más pesado de unos 2 gramos.

Figura 26. Peso del pistón



Fuente: Autores

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Realizar unas marcas con el número correspondiente del pistón en el motor, sobre la cabeza del mismo con la ayuda del punzón y martillo.

- Pesamos los pistones de serie sin modificaciones para obtener valores referenciales; utilizando una balanza que debe ser encerrada en cada medida obtenida.

Tabla 15. Peso de los pistones estándar

Numero de pistón	Peso (gramos)
1	127
2	127
3	127
4	127

Fuente: Autores

Nota: se observa que no existe variación de peso ya que los pistones son nuevos.

- Una vez que se haya realizado las perforaciones y cortes de faldas de los pistones del motor correspondientes, se procede a la verificación del peso de cada uno de ellos.

Tabla 16. Peso de los pistones preparados

Numero de pistón	Peso (gramos)
1	112,0
2	112.4
3	112.2
4	112,1

Fuente: Autores

- Si se tiene la necesidad de reducir el peso de los pistones para que se encuentre en los valores deseados, se puede desbastar con una piedra abrasiva para eliminación del material en los bordes de la falda del pistón.

Tabla 17. Pesos de los pistones nivelados

Numero de pistón	Peso (gramos)
1	111,0
2	110.8
3	110.9
4	111,1

Fuente: Autores

Al culminar el proceso la diferencia de peso entre el pistón más pesado y el pistón menos pesado es de 0,3 gramos, lo cual se encuentra en los parámetros tolerantes.

Figura 27. Peso de Pistones Preparados



Fuente: Autores

Para todos los mecanizados realizados en el pistón se tomaron todas las medidas de seguridad como no reducir peso considerable ocasionando debilitar su estructura, también tomando en cuenta la distancia límite entre la falda y el alojamiento del bulón que es de 5 a 10mm.

5.3 Los aros o segmentos

Los aros empleados en competición se construyen de fundición de gran elasticidad, al objeto de que presenten una máxima adaptabilidad, en todos los puntos de contacto, con la superficie interna de los cilindros. (GILLIERI, 1998)

Figura 28. Aros del pistón



Fuente: Autores

Por diversos factores como la dilatación, la separación de las puntas de los aros puede influir al realizar cálculos, por ellos se proporciona valores de separación aconsejados en aros de 90°, en función del diámetro del cilindro. (GILLIERI, 1998)

Referencia para el huelgo (separación) de los aros.

Tabla 18. Holguras entre aro y su garganta

Diámetro de los cilindros (mm)	Huelgo (mm)
40 – 50	0,10 – 0,25
51 – 60	0,15 – 0,30
61 – 80	0,20 – 0,35
81 – 90	0,25 – 0,40
91 – 100	0,25 – 0,40
101 – 110	0,30 – 0,50
111 – 120	0,35 – 0,50

Fuente: (GILLIERI, 1998)

5.3.1 *Trabajos prácticos en los aros.* Hay que considerar la tolerancia de los aros con respecto a la base de contacto con la garganta del pistón, el posicionado de no coincidencia de las ranuras de las puntas entre los diferentes aros.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Utilizando la tenaza expansionadora, se coloca los aros en las ranuras correspondientes para verificar sus holguras.
- Con la ayuda de una herramienta denominada galga de espesores (0,03 – 0,07 mm) para el primer aro de compresión o fuego, se realiza la comprobación de la distancia entre la ranura del pistón y el aro que estén dentro de lo admitido por la tolerancia antes descrita.
- Si la medida sobrepasa la tolerancia se realiza un desbaste, el cual se hace mediante la colocación del aro sobre una tela esmeril CAR41 y con la ayuda del taco de madera y se realiza un movimiento giratorio.
- Con la ayuda de una galga de espesores (0,02 – 0,06 mm) para el segundo aro de compresión o fuego, se procede a comprobar que la distancia entre la ranura del pistón y el aro estén dentro de los admitido por la tolerancia.
- Si se sobrepasa de la tolerancia se realiza el paso 3 antes descrito.

- Una vez que se encuentren las tolerancias adecuadas en los juegos entre el aro y su garganta correspondiente se verificar el huelgo.
- Se realiza una limpieza adecuada de las paredes de los cilindros.
- Se retira los aros de los pistones preparados con la ayuda de la tenaza expansionadora.
- Con la ayuda del juego de galgas se verifica el huelgo, para lo cual se coloca el aro en el interior del cilindro y con la galga (0,15 – 0,30 mm) se comprueba la separación de las puntas de los aros.

Nota: La medida que se toma siempre para la medición es el máximo de la tolerancia para que la puntas estén lo suficientemente separadas para que incluso, en la caso de mayor dilatación, no lleguen a juntarse y así evitar el gripaje del motor.

- Si las puntas de los aros se logran unir se procede a desbastar las puntas con ayuda de una lima hasta obtener la medida adecuada.

5.3.2 *Instalación de los aros en el pistón.* Es de suma importancia la disposición de los rines en el pistón, los mismos que deben repartirse uniformemente a lo largo de la periferia del pistón, con un ángulo de 45 grados, identificando al lado de admisión y el lado de escape del motor.

Figura 29. Colocación de los aros



Fuente: Autores

5.4 Cabezote o culata

La culata del motor presenta una doble pared para permitir la circulación del líquido refrigerante. Está construido en base a la fundición de metales aleados, con la intención de darle consistencia, y resistencia a las altas temperaturas.

5.4.1 Toberas de admisión y escape. Los conductos están diseñados para la mejora del comportamiento del gas en función del diámetro y pulsaciones producidas por la válvula. Al cambiar el diámetro del asiento de válvula se desconfigura el diseño original, lo que repercute en la alteración de la turbulencia causando una disminución del rendimiento del motor. (MARTÍNEZ, 2012)

Por esta razón en nuestros conductos no se realizó modificaciones, pero se realizó un pulido para la eliminación de carbón y elementos impregnados en las paredes.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Se realiza una limpieza interna de los conductos con ayuda del taladro y un cepillo de alambre de cobre para la eliminación de residuos de carbón acumulado.

Figura 30. Esmerilado de los conductos de escape



Fuente: Autores

- Se procede al laminado de las superficies, con la ayuda de la lija 180 y se coloca WD-40 mientras se afina para obtener un acabado adecuado.
- Se pule las superficies con la ayuda de la lija 280 y 360 y se coloca WD-40 mientras se pule para obtener un acabado tipo espejo.

Nota: Una ayuda para la entrada de aire es el múltiple de admisión el cual se está estudiando, diseñando y fabricando de forma independiente.

Figura 31. Pulido de los conductos de admisión y escape



Fuente: Autores

5.5 Válvulas

Las modificaciones en los asientos de válvulas se las puede realizar cuando existan 2 válvulas por cilindro (una de admisión y otra de escape), para la obtención de un aumento de la superficie resultante de paso de los gases. En el motor no se realizó ninguna modificación ya que cuenta con 4 válvulas por cilindro (dos de admisión y dos de escape) y se realizó el asentamiento de las mismas.

5.5.1 *Sentado y esmerilado de válvulas.* Consiste sencillamente en que la superficie del asiento de la válvula de la zona de esta tenga contacto con una superficie lisa y fina. A su vez que se siente con toda perfección, una sobre otra y que tenga un perfecto ajuste que resulte imposible la pérdida de compresión por este contacto.

Material a utilizar es; válvulas, crema abrasiva, taladro, compresor de resortes, una manguera de unos 15 cm., con un diámetro igual al diámetro del vástago de las válvulas y material de seguridad; y el procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Ubicar adecuadamente la culata para el asentamiento de las válvulas.
- Colocar crema abrasiva sobre la superficie del asiento de válvula.
- Con la utilización de un muelle de poca presión se ubica la válvula en su guía correspondiente de la culata.

- Se sujeta la válvula con una ventosa unida a un mango y se procede a oprimir contra una superficie lisa, se produce el vacío, con lo cual queda adherida.
- Antes de empezar se da unos $\frac{3}{4}$ de vuelta hacia delante y hacia atrás.
- Frotar las manos sobre el mango y se hace presión hacia abajo para que la válvula roce con su asiento.
- La operación 6 se realiza tantas veces como sea necesario.
- Al culminar el procedimiento se inicia con el armado de los elementos como platillos, resortes y seguros de las válvulas.

Figura 32. Asentamiento de las válvulas



Fuente: Autores

5.6 Preparación de los sistemas del motor Yamaha 400cc

5.6.1 Sistema de alimentación. El sistema de alimentación del motor Yamaha 400cc, está conformado por cuatro carburadores, bomba de combustible, tanque de combustible y cañerías.

Para el motor Yamaha se enfocó en los carburadores, los cuales son de marca Mikuni BDST 32, estos carburadores entregan una gran potencia gracias a la mezcla de aire y gasolina. Pero existe un parámetro el cual es la velocidad neutra que si no se encuentra correctamente ajustada se puede existir problemas en el arranque, en la pulverización y estabilidad.

Antes de realizar cualquier actividad en los carburadores se recomienda realizar la siguiente inspección:

- Abrir totalmente la mariposa de gases.
- Arrancar el motor.
- Comprobar visualmente si sale combustible por el surtidor principal, si ocurre esto y el motor intenta prenderse se debe realizar la limpieza, sustitución de elementos dañados y la calibración de los carburadores.

Figura 33. Carburadores



Fuente: Autores

Estos problemas se presentaron en los carburadores, para solucionarlo se procedió a realizar algunas actividades a continuación detalladas.

5.6.1.1 *Limpieza e inspección.* El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Encender el motor.
- Acelerar y pulverizar el limpia carburadores, procurando dirigir el flujo hacia las zonas con mayor suciedad y evitar que el motor se apague.
- Si el problema continúa, es necesario desmontar los carburadores para una limpieza más exhaustiva, para ello se afloja los pernos de sujeción de los carburadores con la ayuda de las llaves hexagonales.
- Se retira el soporte superior, el soporte inferior y el eje de la palanca de arranque.
- Desmontar la cubierta de la cámara de vacío, el resorte y el conjunto de válvula de pistón.

- Retirar la cubierta de la cámara de flotación, el empaque, el pasador del flotador, el flotador, el tornillo de asiento de la válvula y el conjunto de asiento de válvula.
- Desmontar el surtidor principal, el soporte del surtidor principal, el resorte, el surtidor auxiliar, el difusor de la aguja y el surtidor de aire auxiliar.
- Se procede a la limpieza e inspección de los componentes como el cuerpo del carburador, la cámara de flotación, el paso del combustible.
- Inspección de los flotadores, la válvula tipo aguja, el asiento de la válvula tipo aguja, la junta tórica, diafragma de goma, a cualquier daño se los reemplaza.
- Verificar el difusor de la aguja, el surtidor principal, el soporte, el surtidor auxiliar, el tornillo del surtidor auxiliar y el surtidor auxiliar de aire, a cualquier daño se los reemplaza.
- Ensamblar el carburador, siempre lavar las piezas en gasolina limpia antes de montar y utilizar siempre empaques nuevos para evitar fugas.

5.6.1.2 *Reemplazo de algunos elementos del carburador.* El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Se introduce aire comprimido en todos los orificios que acoplan a los calibres para eliminar cualquier impureza o polvo.
- Utilizar un destornillador para el remplazo de los calibres principal y auxiliar con la misma medida de fábrica #87,5 y #15 respectivamente, para evitar complicaciones ya que una variación de tan solo 5 centésimas en el calibre puede provocar una falta de potencia en el motor.
- Reemplazar el surtidor de aire principal y auxiliar, con la misma medida de fábrica #60 y #130, si se aumenta el diámetro de paso del surtidor se empobrece la mezcla proporcionalmente, mucho más en los altos regímenes de revoluciones que en los bajos regímenes.

- Se reemplaza todas las juntas tóricas (o-ring) y los empaques para conseguir la estanqueidad correcta de los carburadores.

Figura 34. Calibre



Fuente: Autores

5.6.1.3 *Regulación de la boya.* El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Verificar que la boya se encuentre correctamente equilibrada, que se encuentre completamente sellada para que exista flotabilidad.
- Observar que la aguja del flotador no se encuentre con deformaciones de su punta cónica (en los carburadores del motor Yamaha 400cc no se encontró ninguna deformación).
- Para medir de las boyas iniciamos colocando el pie de rey en la base del cuerpo del carburador como se muestra en la Figura 35 y medimos $25,7 \pm 1$ mm; se debe tener en cuenta la lengüeta de la boya la cual debe estar tocando el eje de la aguja pero no presionando.

Figura 35. Medición de las boyas



Fuente: Autores

- Para la regulación de la altura de la boya actuaremos en la lengüeta que trabaja con la aguja del flotador.
- Realizar los pasos del 2 al 4 anteriores, en los otros carburadores para obtener uniformidad en el volumen de combustible.
- Verificar el nivel del combustible con la ayuda de una manguera (de preferencia transparente) y un medidor de nivel, conectamos en la salida del combustible como se muestra en la Figura 36.

Figura 36. Verificación del nivel de combustible



Fuente: Autores

- Colocar el medidor en forma vertical, al lado de la marca superior que se encuentra en la tapa de la cámara de flotación.
- Colocar el conducto de suministro de combustible como se muestra la Figura 37.

Figura 37. Conducto de suministro de combustible



Fuente: Autores

- Aflojar el tornillo de drenaje.
- Observar la medida que nos resulta y comparar con la especificada en el manual la cual es de 4,5 a 6,5mm.
- Realizar las actividades del 6 hasta 9 y comparar las medidas con las dispuestas del fabricante.
- Se obtuvo 5,6mm en el primer carburador, 5,4mm en el segundo carburador, 5,5mm en el tercer carburador y 5,6mm en el cuarto carburador; lo cual indica que se encuentra en el rango dispuesto por el fabricante.

5.6.1.4 *Calibración de ralentí.* El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Encender el motor por unos cuantos minutos y luego apagarlo.
- Con el alicate sacar las abrazaderas de sujeción y los tapones de goma de las entradas, como se muestra en la Figura 38.

Figura 38. Tapones de goma



Fuente: Autores

- Conectar los conductos de los vacuómetros a cada uno de los carburadores.
- Encender el motor y dejar en ralentí.
- Verificar las lecturas y comparar; el rango de lecturas que se considera adecuadas es de 17 a 22 pulgadas de mercurio.
- En la primera verificación las medidas resultaron fuera del rango, por lo tanto se procede a regular los carburadores.

- Se regular en primer lugar el par de carburadores de la izquierda, luego el par de carburadores de la derecha y por último se regula los dos pares de carburadores centrales, este último es el tornillo de ralentí.
- Las medidas resultantes son, en el primer carburador 20 pulg.Hg, en el segundo 20.5 plg.hg, en el tercero 20.4 pulg.hg y en el cuarto 20,8 plg.hg; los cuales se encuentran dentro del rango recomendado.
- Con la ayuda del destornillador ajustamos los tornillos de regulación.
- Desconectar los conductos de los vacuómetros y proceder a acelerar el motor hasta unas 1000 rpm, por algunas ocasiones.
- Volver a colocar los conductos del vacuómetros y verificar que las medidas se encuentren en el rango obtenido y una vez comprobado proceder a la ubicación de los elementos desmontados.

5.6.2 Sistema eléctrico. El sistema eléctrico del motor Yamaha 400cc, está constituido por el conjunto de bobina del estator, bobinas captadoras, magneto (genérico), motor de arranque (Mitsuba), unidad de control de encendido por descarga capacitiva (CDI), interruptor, bobinas(YOG), cables de bujías y bujías (bajo rendimiento).

Figura 39. Elementos eléctricos sustituidos



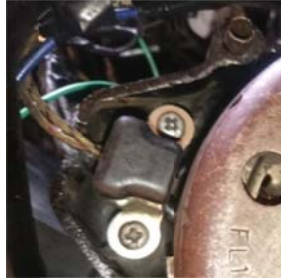
Fuente: Autores

La modificación del sistema eléctrico del motor está enfocada a la adquisición de elementos de altas prestaciones, bobina captadora, magneto, motor de arranque, rectificador, relé, unidad de control de encendido transistorizado (TCI), interruptor, bobinas, cables de bujías y bujías.

Con la instalación de estos elementos de altas prestaciones se logra que en cada etapa de la aceleración el motor obtenga mayor rendimiento posible, al conseguir una combustión de la mezcla aire-gasolina más eficiente.

- Bobina captadora: Es un sensor colocado cerca del cigüeñal que da una señal a cada vuelta del mismo, para poder determinar el momento de encendido.

Figura 40. Bobina captadora



Fuente: Autores

- Magneto: Es una pieza generalmente cilíndrica con imanes o electro-imanes impulsado por el movimiento rotativo del motor.

Figura 41. Magneto



Fuente: Autores

- Motor de arranque: Es un motor eléctrico alimentado con corriente continua con imanes de tamaño reducido y que se emplea para facilitar el encendido de los motores de combustión interna, para vencer la resistencia de los componentes cinemáticos del motor al arrancar.

Figura 42. Motor de arranque



Fuente: Autores

- Rectificador: Es una pieza electrónica cubierta por un disipador de calor que se encarga de recibir la corriente alterna y transformar en corriente continua. Por lo mencionado sirve para cargar la batería y alimentar el sistema eléctrico del prototipo de Fórmula SAE mientras está en movimiento.

Figura 43. Rectificador



Fuente: Autores

- Relé: Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Figura 44. Relé



Fuente: Autores

- Unidad de control de encendido transistorizado: El TCI, está controlado y operado por un microprocesador. Tiene un encendido pre-programado, la curva de avance la cual coincide estrechamente el tiempo de encendido según los requerimientos de encendido del motor. La energía eléctrica es utilizada directamente desde la batería, donde el transistor hace la función de conmutador.

Figura 45. TCI



Fuente: Autores

- Bobinas de alta tensión: Las bobinas TEC son de gran rendimiento y alto voltaje, permite una chispa más potente que favorece a la combustión. Estas bobinas son las encargadas de transformar la corriente de baja tensión en alta tensión, no es más que un transformador que trabaja mediante inducción mutua.

Figura 46. Bobinas



Fuente: Autores

- Bujías: Las bujías CCR8E (NGK) producen una chispa a través de sus electrodos, para encender la mezcla aire-combustible.

5.7 Pruebas en el banco dinamométrico del motor Yamaha 400cc preparado

Una vez terminados los procesos de preparación en el motor se realiza una nueva prueba en el banco dinamométrico, obteniendo los datos para realizar los cálculos correspondientes y poder observar el aumento que se ha logrado conseguir en el motor.

5.7.1 Cálculo de la cilindrada unitaria.

$$Cu = \left(\frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \right)$$

$$Cu = \left(\frac{\pi \times 56,25(mm)^2 \times 40,5(mm)}{4} \right)$$

$$Cu = \frac{100644,4795 \text{ mm}^3 \times 1\text{cm}^3}{1000\text{mm}^3}$$

$$Cu = 100,64\text{cm}^3$$

5.7.2 Cálculo de la cilindrada total.

$$Ct = 100,64cm^3 \times 4$$

$$Ct = 402,58cm^3$$

5.7.3 Cálculo de la relación de compresión.

$$Rc = \frac{Cu + Vc}{Vc}$$

$$Rc = \frac{100,64cm^3 + 9,51cm^3}{9,51cm^3}$$

$$Rc = 11,6$$

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del motor Yamaha 400cc se procede a montar en el banco dinamométrico, verificando la alineación correcta con el eje que transmite el movimiento producido por el banco, para realizar las respectivas pruebas utilizando un volumen de combustible de 50 cm³. Dando como resultado los datos detallados en la Tabla 19.

Tabla 19. Datos obtenidos del banco dinamométrico

Datos obtenidos en la prueba				
Régimen	Par motor	Consumo (50cm³)	Presión atmosférica	Temperatura ambiente
n= rpm	M= Nm	t= seg	P_a= mmHg	T_a= °C
6500	15,09	22	763,83	16
6000	16,95	25	763,83	14,9
5400	14,01	29	763,83	15,8
5000	9,90	32	763,83	15,3
4800	7,84	36	763,83	15,8
4300	6,17	40	763,83	15,4
4000	5,00	45	763,83	15,6

Fuente: Autores

5.7.4 Cálculo de potencia y consumo.

Tabla 20. Cálculo de potencia y consumo

Régimen (rpm)	Par motor (Nm)	Potencia (kW)	Consumo (g/kW.h)
6500	15,09	10,27	1163,06
6000	16,95	10,65	987,12
5400	14,01	7,92	1143,93
5000	9,90	5,18	1584,43
4800	7,84	3,94	1852,55
4300	6,17	2,78	2364,91
4000	5,00	2,09	2788,60

Fuente: Autores

5.7.5 Cálculo del factor de corrección (K_a). De la misma forma que en los cálculos del motor estándar se procede al cálculo del factor de corrección para aplicarlo a los datos obtenidos en el motor ya preparado.

$$K_a = \frac{760}{P_a} \left(\frac{T_a}{293} \right)^{0,5}$$

$$K_a = \frac{760}{763,83} \left(\frac{288,54}{293} \right)^{0,5}$$

$$K_a = 0,987$$

Tabla 21. Cálculo de potencia y consumo aplicando el factor de corrección

Régimen (rpm)	Par motor (Nm)	Potencia (kW)	Consumo (g/kW.h)
6500	14,89	10,14	1178,38
6000	16,73	10,51	1000,12
5400	13,83	7,82	1159,00
5000	9,77	5,11	1605,30
4800	7,74	3,89	1876,95
4300	6,09	2,74	2396,06
4000	4,94	2,06	2825,33

Fuente: Autores

5.7.6 *Cálculo de la elasticidad de par (E_p).*

$$E_p = \frac{M_{max}}{M_{p_{max}}}$$

$$E_p = \frac{16,73}{14,89}$$

$$E_p = 1,12$$

5.7.7 *Cálculo de la elasticidad de régimen.*

$$E_n = \frac{n_{p_{máx}}}{n_{M_{máx}}}$$

$$E_n = \frac{6500}{6000}$$

$$E_n = 1,08$$

5.7.8 *Cálculo del coeficiente de elasticidad.*

$$E = E_p \times E_n$$

$$E = 1,12 \times 1,08$$

$$E = 1,2$$

Una vez obtenido los valores de elasticidad de par y de régimen, el producto de estos datos da como resultado el coeficiente de elasticidad. Concluyendo de esta manera que el motor Yamaha 400cc ya preparado, se considera poco elástico ya que se cuentera en el rango de valores entre 1 y 2, coincidiendo con los valores obtenidos en el motor Yamaha 400cc estándar.

5.7.9 Cálculo de la presión media efectiva y potencia al freno.

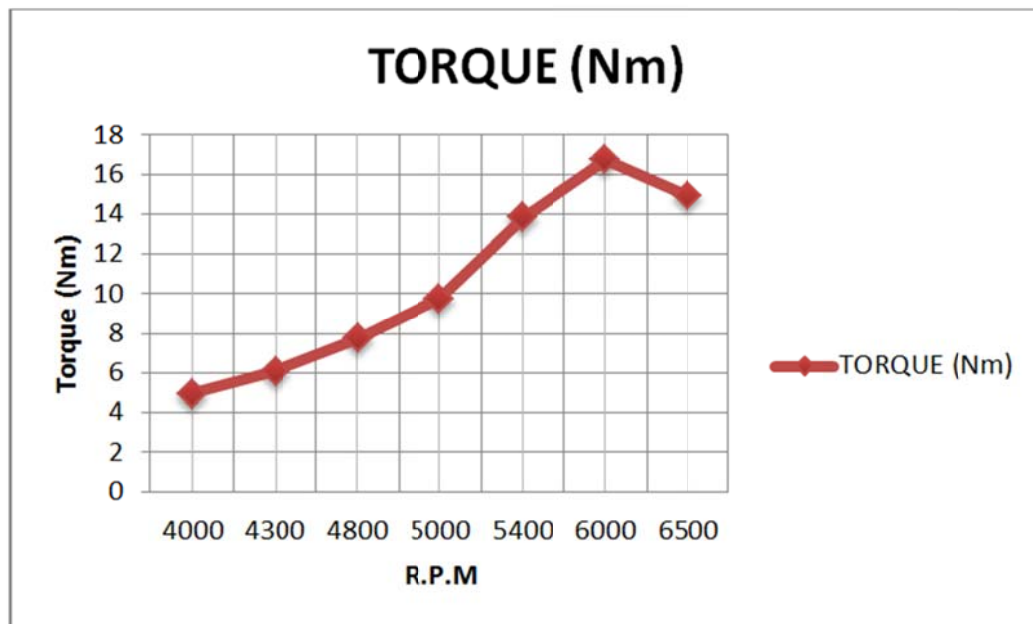
Tabla 22. Cálculo de PME y potencia al freno

Régimen (rpm)	Potencia (kW)	Presión media efectiva (bar)	Potencia al Freno (kW)
6500	10,14	4,69	10135,30
6000	10,51	5,27	10511,77
5400	7,82	4,36	7820,68
5000	5,11	3,07	5115,56
4800	3,89	2,44	3890,55
4300	2,74	1,92	2742,30
4000	2,06	1,55	2069,26

Fuente: Autores

5.7.10 Gráficas de torque, potencia y consumo específico de combustible. En la Figura 47, se presenta los datos del torque los cuales se encuentran en la Tabla 21.

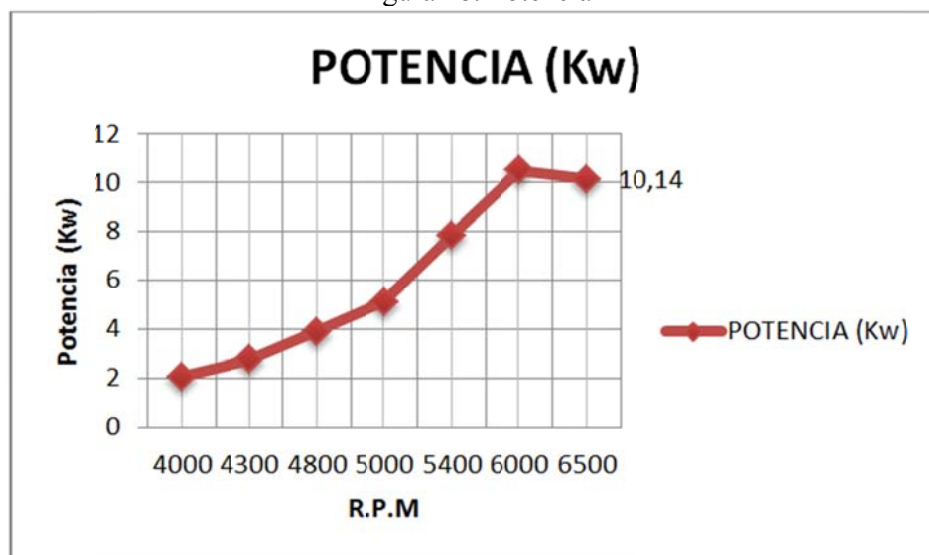
Figura 47. Torque



Fuente: Autores

Se observa el aumento del torque a medida que aumenta las revoluciones, llegando a un torque máximo de 16,73 N – m, a 6000 revoluciones. En la Figura 48, se presenta los valores de potencia los cuales se encuentran en la Tabla 21.

Figura 48. Potencia

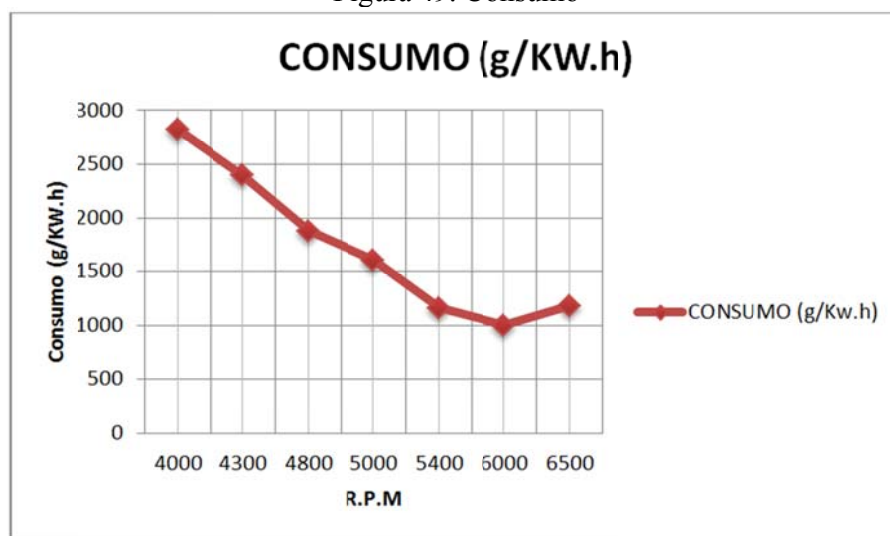


Fuente: Autores

Se observa el aumento de potencia a medida que aumenta las revoluciones, llegando a una potencia máxima de 11,54kW a 6500 revoluciones.

En la Figura 49, se presenta los datos de consumo de combustible los cuales se encuentran en la Tabla 21.

Figura 49. Consumo

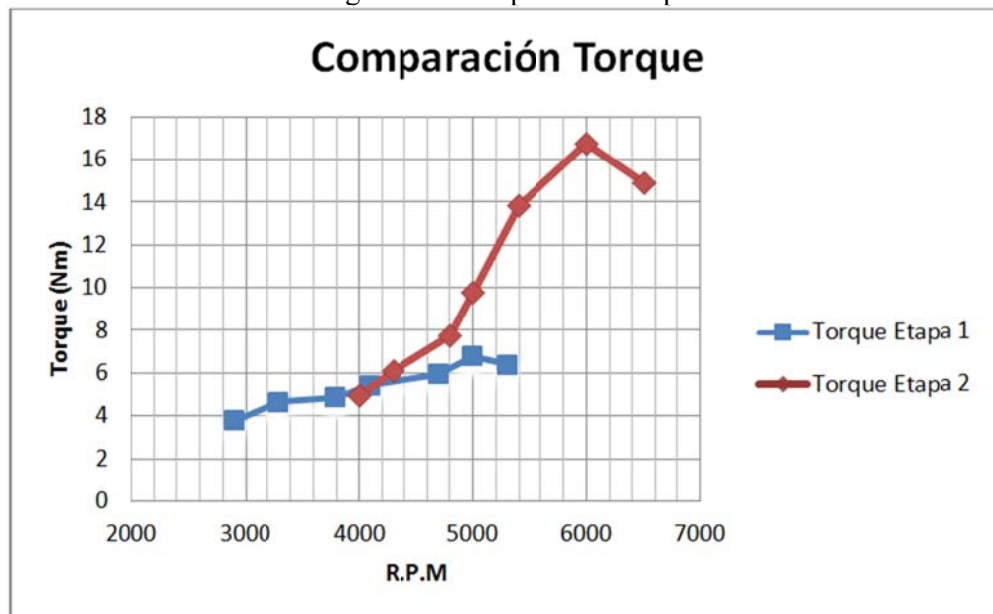


Fuente: Autores

Se observa en la Figura 49., la disminución del consumo específico de combustible a medida que aumenta las revoluciones, llegando a un consumo específico de combustible máximo de 2825,33 g/kW.h, a 4000 revoluciones.

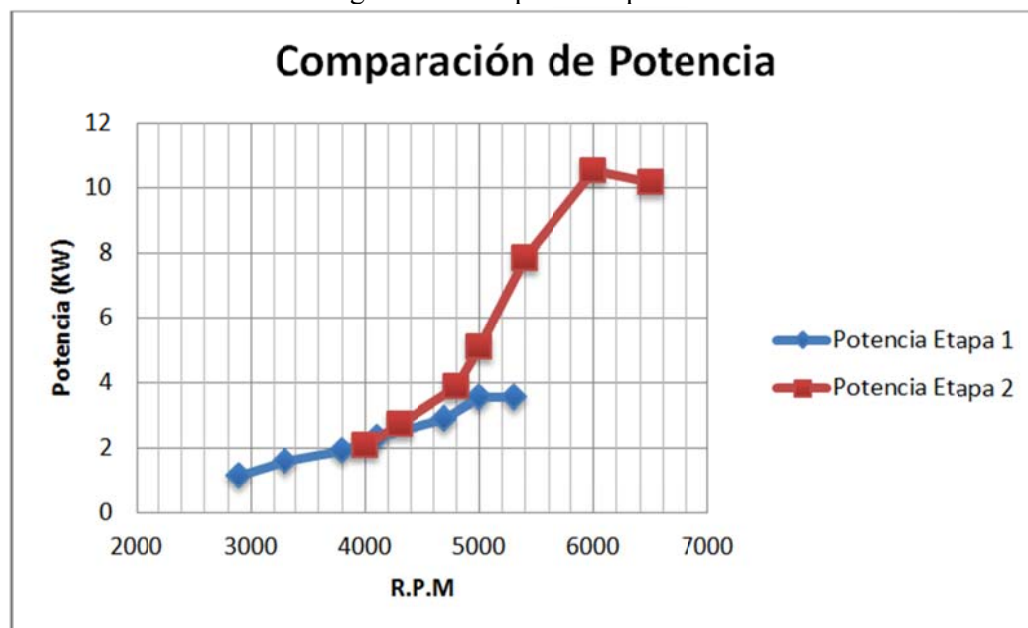
5.7.11 *Curvas resultantes entre el motor estándar y el preparado.* Una vez obtenido los datos del motor estándar y el motor preparado se procede a realizar una comparación gráfica y de esta manera poder evidenciar la mejoría que se obtuvo aplicando los métodos de preparación al motor Yamaha 400cc, con los tres parámetros que son torque, potencia y consumo específico de combustible.

Figura 50. Comparación torque



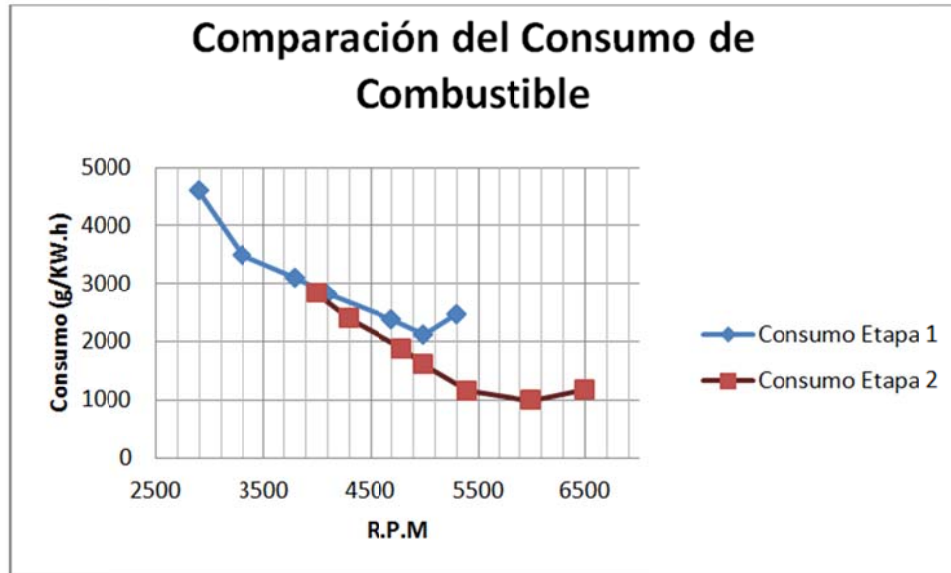
Fuente: Autores

Figura 51. Comparación potencia



Fuente: Autores

Figura 52. Comparación del consumo de combustible



Fuente: Autores

En la Tabla 23, se sintetiza la comparación de valores entre el motor estándar (etapa 1) y el motor preparado (etapa 2).

Tabla 23. Comparación de datos

Características	Etapa 1	Etapa 2
Cilindrada	399cc	402,58cc
Diámetro - Carrera	56mm – 40,5 mm	56,25mm – 40,5mm
Potencia	3,54 kW @ 5300rpm	10,14 kW @ 6500rpm
Torque	6,77 N-m @ 5000rpm	16,73 N-m @ 6000rpm

Fuente: Autores

Por la falta de un banco dinamométrico adecuado para motocicletas, se optó por la utilización del banco dinamométrico de la facturad de mecánica el cual es óptimo para motores de alto cilindraje ya sea de gasolina y diésel.

CAPÍTULO VI

6. ADAPTACIÓN DEL MOTOR YAMAHA 400CC Y COMPONENTES AL CHASIS DEL PROTOTIPO

6.1 Selección de la ubicación de los elementos del motor Yamaha 400cc

Todos los elementos se hace indispensable ubicarlos correctamente en el chasis del prototipo Fórmula SAE aprovechando al máximo todo el espacio ya que es reducido.

Este trabajo se realizó en un taller adecuado para conseguir el objetivo, ya que cuenta con todas las herramientas, equipos y materiales, consiguiendo realizar cada uno de los procesos de mejor manera, rápidos y con la respectiva seguridad para el motor, equipos y personas.

6.2 Seguridad en el taller

“Aunque existen numerosos riesgos asociados con todo tipo de taller, la selección del equipo y de las herramientas correctas hará mucho en favor de minimizar los peligros potenciales. Si tú y tus compañeros trabajáis con seguridad, teniendo cuidado de no asumir riesgos innecesarios, no tendréis accidentes”. (READ, 2001)

Algunas reglas que pueden ayudar a la seguridad en el interior del taller son:

- Cumplir siempre con lo que advierten todas las señales en los puestos de trabajo de un taller.
- Utilizar siempre las herramientas específicas y necesarias para no tener contratiempos por mal uso de las mismas.
- Si se va a levantar un peso asegurarse que el mismo no supere las fuerzas de la persona para que no exista lesiones posteriormente. Aproximadamente 20 kg.
- Proteger siempre las vías respiratorias con una mascarilla cuando se trabaje con superficies polvorientas ya que es considerablemente perjudicial para la salud.

- Los residuos de combustible vaciar en un tanque para el mismo, y no exponerlo al calor de cualquier llama o cigarrillos.
- No manipular ninguna parte de un sistema eléctrico cuando esté encendido ya que las lesiones pueden ser graves.
- Tener presente constantemente que un sitio de trabajo siempre aseado y ordenado, es un lugar seguro.

6.3 Proceso de soldadura de las bases del motor Yamaha 400cc

Para el proceso de soldadura se realizó, en la unión de las bases que se requieren para el motor Yamaha 400cc, en el acople del escape y en otros procesos de adaptación. Se utilizó suelda eléctrica, el electrodo 6011 y material de seguridad. En detalle el proceso de soldadura eléctrica es un proceso sencillo ya que no requiere preparación especial de los elementos que se va a unir.

6.4 Adaptación del motor Yamaha 400cc

Con el motor armado por completo y funcionando correctamente, es necesario montarlo en una posición óptima en el chasis ya diseñado para el prototipo Fórmula SAE, tanto por seguridad así como para que se pueda visualizar su funcionamiento de forma cómoda.

Es decir, que estos elementos se montaran en la parte posterior del chasis, siendo necesario efectuar la construcción y el acoplamiento con una estructura adecuada para que soporte el peso y movimiento que se genera por el funcionamiento. Para el montaje del motor Yamaha 400cc al chasis del prototipo de la Fórmula SAE, se ejecutó el procedimiento a continuación descrito:

- Con ayuda del teclé se levantó el motor para poder ubicarlo en la respectiva posición y así poder coger medidas para el diseño de las bases.
- Una vez fijado la posición se procedió a nivelar tanto el chasis como el motor ya que esto influye en el funcionamiento del mismo.

- Las bases unidas al motor se las fabricó con tubo circular de diámetro de 1 pulgada y con cauchos en su interior para absorber las vibraciones producidas por el funcionamiento del motor, atravesados por pernos los cuales aseguran su estabilidad.
- Las bases que van sujetas al chasis fueron hechas de tubo circular con diámetro de 1 pulgada las mismas que se le elaboro un doblado por motivos de espacio. Estas bases son unidas a las bases del motor por medio de una platina que asegura su fijación.
- Un propósito del diseño de las bases es montar y desmontar con facilidad el motor del chasis por lo que se colocó un eje de acero el cual hace la función de embolo con el tubo base asegurado con un perno facilitando así su desmontaje.
- Con todas las bases listas y con las medidas adecuadas el siguiente paso fue soldar con electrodos 6011, cabe indicar que se debe tomar en cuenta todas las medidas de seguridad. Para finalizar se realizó el respectivo acabado en cuanto a pintura tanto del motor como del chasis.

Figura 53. Adaptación del motor



Fuente: Autores

6.5 Adaptación del sistema de escape

Los colectores de escape para el motor Yamaha 400cc se han considerado los mismos que vienen de fábrica ya que su diseño 4 a 1, es exclusivo para competición, teniendo como característica importante que se consigue un considerable aumento de potencia en altos regímenes de giro de modo que es aconsejable para los vehículos especialmente dedicados a las pistas.

Para la adaptación del sistema de escape se procedió a lo siguiente:

- Una vez colocado el motor en el chasis se colocó los múltiples de escape asegurados con pernos.
- Considerando el diseño del Fórmula SAE se tuvo que cortar el tubo de escape y acoplar dos platinas de 10mm de espesor que una vez trabajada en el torno sirve como unión entre los múltiples y el tubo beneficiando así al desmontaje del motor.
- Para asegurar su fijación de las platinas se colocó 4 pernos con sus respectivas arandelas de presión para evitar la fuga de gases.
- Posteriormente se sueldo el tubo de diámetro de 2 pulgadas con el silenciador asegurándose con una abrazadera que mediante una platina se une al chasis.
- Finalmente se pintó todo el sistema de escape.

Figura 54. Adaptación del sistema de escape



Fuente: Autores

6.6 Adaptación de los pedales del acelerador y embrague

Los pedales de embrague al igual que el del freno y el acelerador se ubican en la parte frontal del chasis, de tal forma que sea fácilmente presionado por el conductor. Tanto los pedales del freno como el embrague están conectados directamente mediante un cable metálico, que transmite el mando hacia el motor y embrague.

Para la instalación de los pedales se realizó lo siguiente:

- Se procedió a soldar dos platinas que sirven de base para los pedales.

- Se realizó la medición y señalización de la ubicación de los pedales freno, embrague y acelerador.
- Se perfora el piso y la platina para que con pernos quede sujeta y fija la pedalera.
- Se adapta el mecanismo de accionamiento para el pedal del acelerador y el pedal del embrague, utilizando cable de acero.

Figura 55. Adaptación de los pedales de embrague y acelerador



Fuente: Autores

6.7 Adaptación del Radiador

El radiador debido al poco espacio que existe está ubicado en la parte lateral del prototipo, dentro del pontón de la carrocería, de forma inclinada para que de esta manera exista buena aireación lo cual es necesario para que el motor tenga un buen funcionamiento. Además junto al radiador se encuentra el electro ventilador que apoya a la ventilación del mismo.

Para la instalación del radiador se procedió a lo siguiente:

- Se colocó el pontón lateral del prototipo Fórmula SAE en su posición original, para de esta manera ubicar el radiador y poder tomar medidas.
- Se realizó una pequeña perforación en la carrocería del prototipo de la Fórmula SAE.
- Con tubo circular se aseguró el radiador al chasis del prototipo por medio del proceso de soldadura.
- Se colocó todas las cañerías correspondientes entre el motor y el radiador.

Figura 56. Adaptación del radiador



Fuente: Autores

6.8 Adaptación de los elementos del sistema de encendido

El sistema de encendido del prototipo debe ser ubicado de tal forma que exista la debida seguridad tomando en cuenta que por sus cables circula grandes corrientes las cuales pueden causar daños.

Para la adaptación del sistema de encendido se realizó lo siguiente:

- En la parte posterior del asiento del prototipo se colocó la batería, con la que se debe tener la debida precaución con la temperatura de los múltiples de escape que se encuentran cerca.
- Una vez fijada la posición de la batería se aseguró mediante platinas tipo ángulo soldadas y empernadas al suelo del prototipo.
- Desde la batería sale todo el cableado del sistema de encendido con el cual hay que tener mucho cuidado que no intervenga con otros sistemas del motor.
- Finalmente se colocó adecuadamente los componentes como TCI y bobinas.

Figura 57. Adaptación del sistema de encendido



Fuente: Autores

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Para la realización del presente trabajo de titulación se ejecutaron algunas fases, las cuales produjeron gastos económicos los mismos que son detallados a continuación.

7.1 Costos directos

Los costos directos hacen referencia a los gastos que influyen directamente en el trabajo de titulación, principalmente constituyen materia prima y mano de obra.

Tabla 24. Costos directos

Cantidad	Descripción	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
1	Motor Yamaha 400cc	1200	1200
4	Pistones, rines, bulón	40	160
1	Rectificado de bloque de cilindros	50	50
1	Asentamiento de válvulas	20	20
4	Corte de falda de pistón y perforaciones	10	40
1	Radiador, ventilador	40	40
1	Batería	65	65
2	Bobinas TEC	200	400
1	TCI	200	200
1	Magneto	50	50
1	Motor de arranque	70	70
1	Pulsador	20	20
4	Bujías	8	32
1	Rectificador	18	18
1	Relé	10	10
4	Cañerías	10	40
2	Pedales	170	340
3	Aceite (lt)	6	18
2	Silicona	2	4
1	Construcción de Brida	130	130
2	Tubos	10	20
2	Platinas	8	16
2	Disco de corte y disco abrasivo	2	4
20	Pernos	1	20

2	Brocas	2	4
2	Kit de carburación	40	80
20	Electrodos	0,12	2,40
1	Refrigerante (gal)	5	5
5	Gasolina (gal)	1	5
Total			3063,40

Fuente: Autores

7.2 Costos indirectos

Los costos indirectos no influyen o intervienen directamente en la elaboración del trabajo de titulación, pero también se les toma en cuenta en el desarrollo del mismo.

Tabla 25. Costos indirectos

Descripción	Precio total [USD]
Transporte	50,00
Imprevistos	20,00
Documentación e investigación	150,00
Total	220,00

Fuente: Autores

7.3 Costo total

Tabla 26. Costo total

Costos	Precio [USD]
Costos directos	
Total	3063,40
Costos indirectos	
Total	220,00
Costo total	3283,40

Fuente: Autores

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Con el análisis de los distintos métodos de preparación se logró obtener mayor información y de esta manera utilizar los más fiables para la preparación del motor Yamaha 400cc.

La medición correcta de todos los valores antes de la preparación permito saber cuál es la situación actual del motor, y conocer el trabajo a realizar para la debida preparación del mismo.

Los diferentes componentes y sistemas propuestos para el aumento de potencia y torque del motor trabajaron perfectamente, obteniendo un aumento de potencia en 6.6 kW a 6500 rpm y un aumento de torque en 9,96 N-m a 6000rpm.

El trabajo de titulación permitió desarrollar un procedimiento técnico de trucaje y preparación de un motor de motocicleta, basándose en la información recogida del banco de pruebas dinamométrico.

El desarrollo de la adaptación fue exitoso ya que se logró ubicar todos los elementos del prototipo de forma segura y correcta cumpliendo con el Reglamento de la Fórmula SAE.

8.2 Recomendaciones

Durante los diferentes trabajos realizados hay que tomar en muy cuenta la seguridad en el taller, para de esta manera reducir los riesgos posibles así como también los accidentes.

Es necesaria la perfecta alineación del motor con respecto al banco de pruebas así como también la fijación de sus bases, ya que la excesiva vibración puede romper la junta elástica que une al motor con el freno dinamométrico.

El control de la temperatura del refrigerante debe ser continuo cuando se esté realizando las pruebas, ya que al estar trabajando el motor en un ambiente cerrado el calor no se disipa con facilidad.

Siempre es necesario contar con la colaboración de una persona experta en motocicletas, para evitar contratiempos y gastos innecesarios.

Para la obtención de datos más precisos se recomienda realizar las pruebas en un banco dinamométrico apropiado para motocicletas.

Si se va adquirir piezas en el extranjero se debe tomar las debidas precauciones en cuanto al tiempo de espera ya que esto perjudicaría en cuanto al avance del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, Edgar Mayz. 2009.** automotriz.net. [En línea] 2009. [Citado el: 17 de Febrero de 2016.] <http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-11.html>.
- ADV, Luciw. 2014.** Gradenecker. [En línea] 2014. [Citado el: 25 de Marzo de 2016.] <http://www.gradenecker.com.ar/info.php?seccion=rectificaciones#>.
- BOS. 2015.** Scribd.com. [En línea] 30 de Septiembre de 2015. [Citado el: 20 de Enero de 2016.] <http://es.scribd.com/doc/283173696/Sistema-de-Encendido#scribd>.
- BRUZOS, Tomás. 2011.** Sabelotodo.org. [En línea] 2011. [Citado el: 10 de Abril de 2016.] <http://www.sabelotodo.org/automovil/sistencendido.html>.
- DE MADRONA, Luis. 1999.** educativa. [En línea] 13 de Diciembre de 1999. [Citado el: 20 de Mayo de 2016.] <http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1104/html/caja.1.jpg>.
- DEL ANGEL, Isaac. 2016.** TallerAutoElectrico.com. [En línea] 20 de Junio de 2016. [Citado el: 30 de Junio de 2016.] <http://tallerautoelectrico.com/sistema-de-encendido-convencional/>.
- GERSCHLER, Hellmut. 1985.** *Tecnología del Automóvil*. Barcelona : Reverté S.A., 1985.
- GILLIERI, Stefano. 1998.** *Preparación de motores de serie para competición*. s.l. : ceac, 1998.
- Holm, Harald. 1999.** Bikez.com. [En línea] 1999. [Citado el: 14 de Abril de 2016.] www.bikez.com/motorcycles/yamaha_frz_400_1989.php.
- International, SAE. 2016.** fsaeonline. [En línea] 2016. [Citado el: 14 de 12 de 2015.] http://www.fsaeonline.com/content/2016_FSAE_Rules.pdf.
- MARTINEZ, Hermogenes. 2012.** *Manual Práctico del Automovil*. Barcelona : Cultura, 2012.
- MARTÍNEZ, ROMERO. 2012.** *Preparación y repotenciación del motor de un vehículo Suzuki Forza 993 cm3 para competición*. Riobamba : s.n., 2012.
- MEGANEBOY, Dani. 2014.** Aficionados a la Mecánica. [En línea] 2014. [Citado el: 10 de Febrero de 2016.] <http://www.aficionadosalamecanica.net/bujias.htm>.
- MIGUEL DE CASTRO, Vicente. 1998.** *Trucaje de motores de 4 tiempos*. Perú : ceac, 1998.

READ, P Y REID, V. 2001. *Manual Técnico del Automóvil*. Madrid : A. Madrid Vicente, Ediciones, 2001.

SANZ, Santiago. 2011. *Motores*. Madrid : Editex, 2011.

***(((ale)))*. 2009.** Mecánica del Automóvil. [En línea] Marzo de 2009. [Citado el: 20 de Abril de 2016.] <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>.